

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA DETERMINACIÓN  
EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES  
SOLARES DE BAJA TEMPERATURA

EDICSON GERARDO SASTOQUE GARCÍA  
FÉLIX MAURICIO ORTIZ BECERRA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.

2018

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA DETERMINACIÓN  
EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE COLECTORES  
SOLARES DE BAJA TEMPERATURA

EDICSON GERARDO SASTOQUE GARCÍA  
FÉLIX MAURICIO ORTIZ BECERRA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

DIRECTOR  
VÍCTOR MANUEL CARRILLO ÁLVAREZ  
MSc. INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.

2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C. 31 de Enero del 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios por darnos la fortaleza y sabiduría para llevar a cabo este proyecto de grado. A nuestros padres por brindarnos el apoyo incondicional y el esfuerzo que ellos hicieron para lograr nuestro objetivo de ser profesionales como ingenieros mecánicos.

Agradecemos también la colaboración y enseñanza que nos brindó el ingeniero Silvio Alejandro Jiménez Castellanos, por su sabiduría y experiencia como docente e ingeniero mecánico. Que debido a ello, se logró desarrollar la mayor parte del proyecto.

Agradecemos al ingeniero mecánico Víctor Manuel Carrillo Álvarez, por haber tomado la decisión de continuar con nuestro proyecto y brindarnos sus mayores conocimientos para finalizar con los objetivos planteados de este documento.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	LISTA DE TABLAS .....	6
2.	LISTA DE FIGURAS .....	8
3.	GLOSARIO.....	9
4.	RESUMEN.....	10
5.	INTRODUCCIÓN.....	11
6.	JUSTIFICACIÓN .....	12
7.	OBJETIVOS .....	13
7.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
7.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
8.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
9.	MARCO CONCEPTUAL .....	18
9.1	ANTECEDENTES .....	18
9.2	MARCO TEORICO .....	19
9.2.1	ENERGIA SOLAR TÉRMICA.....	19
9.2.2	RENDIMIENTO DE COLETORES SOLARES .....	21
9.2.2	NORMAS PARA LOS ENSAYOS DEL RENDIMIENTO TÉRMICO.....	24
10.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	27
11.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA .....	29
11.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS TÉRMINOS DE BÚSQUEDA .....	29
11.2	MAPA DE DELIMITACIÓN DEL ESPACIO LITERARIO RELEVANTE (ELR)..	30
11.3	VIGENCIA DEL TEMA .....	31
11.4	POSICIONAMIENTO DEL TEMA HISTORICO. ....	39
11.5	POSICIONAMIENTO DEL TEMA EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS.....	40
11.6	CONTROL DE CALIDAD .....	43
11.7	DESCRIPCIÓN DE LOS DOCUMENTOS ENCONTRADOS.....	50
11.8	DIVULGACIÓN .....	65
12.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	67
13.	CONCLUSIONES .....	70
14.	RECOMENDACIONES .....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	72

## 1. LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de los términos de búsqueda.....	30
Tabla 2. Resultados de áreas con el termino Solar collectors performace. ....	31
Tabla 3. Resultados de áreas con el termino Solar collectors thermal performance. ...	32
Tabla 4. Resultados de áreas con el termino Characterization of solar thermal systems. .....	33
Tabla 5. Resultados de áreas con el termino Low temperature solar collectors.....	34
Tabla 6. Resultados de áreas con el termino Solar collectors thermal efficiency.....	35
Tabla 7. Áreas de investigación con promedios de artículos.....	35
Tabla 8. Filtraciones de búsqueda para la vigencia del tema.....	37
Tabla 9. Cantidad de documentos por año .....	38
Tabla 10. Cantidad de documentos por año Engineering Source.....	39
Tabla 11. Filtraciones de búsqueda para el posicionamiento histórico del tema.....	40
Tabla 12. Top 10 del posicionamiento histórico. ....	42
Tabla 13. Top 10 del posicionamiento en los últimos 5 años (2013-2017) .....	43
Tabla 15. Top 10 de los documentos más citados y su posición Histórica. En Engineering Source. ....	46
Tabla 16. Top 10 de los documentos más citados y posicionamiento de 2013 a 2017. En Science Direct. ....	48
Tabla 17. Top 10 de los documentos más citados y posicionamiento de 2013 a 2017. En Engineering Source.....	49

Tabla 18. Cuantificación de los tipos de colectores identificados en los artículos.....	67
---	----

Tabla 19. Cuantificación de los métodos identificados en los artículos.....	68
---	----

## 2. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de prueba de bucle cerrado.....	22
Figura 2. Sistemas de prueba de bucle abierto.....	23
Figura 3. Curvas de rendimiento de diferentes captadores solares planos.....	24
Figura 4. Grafica de la vigencia del incremento de documentos por años en ScienceDirect .....	39
Figura 5. Grafica de la vigencia del incremento de documentos por Años en EngineeringSource.....	40
Figura 6. Tipos de colectores identificados en los artículos.....	69
Figura 7. Métodos identificados en los artículos.....	70



### 3. GLOSARIO

- **Rendimiento térmico:** La relación entre la totalidad de radiación recibida y el aprovechamiento efectivo transmitido al absorbedor del captador solar.
- **Colelector solar:** Dispositivo cuya finalidad es de calentar un fluido (agua, aceite, aire) a partir de la radiación solar. Los colectores a baja temperatura, son utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y agua caliente sanitaria.
- **Radiación solar:** La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.
- **Temperatura:** Magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Se mide con aparatos de precisión llamados termómetros, PT100 u otros instrumentos de medición para temperatura.
- **Trasferencia de calor:** Proceso en el cual se intercambia energía en forma de calor entre dos cuerpos mediante los mecanismos de conducción, convección o radiación.
- **ELR:** Espacio Literario Relevante, es un protocolo de revisión basado en mapas mentales para integrar los productos de formulación y sistematización de la pregunta general de investigación así como de la selección de los términos de búsqueda.
- **Nanofluidos:** Es una nueva clase de fluidos de ingeniería producidos mediante la dispersión de materiales de tamaño nanométrico menor que 100 nm (nanopartículas, nanotubos, nanofibras, nanoalambres, nanovarillas) en fluidos de base.

#### **4. RESUMEN**

Los colectores solares de baja temperatura cada vez son más utilizados en aplicaciones domésticas e industriales. Por ejemplo, para calentamiento de agua sanitaria y para calefacción. Este documento se concentra en la investigación del estado del arte de la determinación experimental del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura. Utilizando la metodología propuesta por Jorge Iván Pérez, en su libro Revisión sistemática de literatura en ingeniería. El objetivo de este documento es identificar las estrategias que se han utilizado para aumentar el rendimiento térmico de este tipo de colectores a lo largo de la historia y en los últimos 5 años (2013-2017). Los resultados demuestran que para mejorar el rendimiento térmico se utilizan diferentes tipos de experimentos, por ejemplo: cambio de materiales y posicionamiento, utilización de diferentes fluidos, simulaciones y métodos matemáticos.

## **5. INTRODUCCIÓN**

Esta investigación documental pretende identificar las estrategias que han desarrollado diferentes grupos de investigación, científicos e ingenieros para aumentar el rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura a lo largo de la historia investigativa.

El documento de investigación ofrece un importante aporte de la actualidad investigativa de los colectores solares a baja temperatura en su rendimiento térmico, logros obtenidos y mejoras que han realizado para poder caracterizar los estudios, materiales y técnicas de mejoramiento del rendimiento térmico.

El documento le dirá al lector si el tema es lo suficientemente actual para seguirlo estudiando. También mostrará los estudios más sobresalientes y su contenido, para después compararlos y sugerir posibles tópicos que ameriten estudios a través de proyectos de investigación.

## **6. JUSTIFICACIÓN**

El proyecto de investigación está enfocado en apoyar los procesos investigativos del grupo de investigación de ingeniería GIDAD de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Al identificar las estrategias y métodos, los montajes experimentales, los materiales, equipos y técnicas que han utilizado diferentes investigadores para mejorar el rendimiento térmico de los colectores a baja temperatura, el grupo GIDAD podrá plantear y ejecutar proyectos de investigación relacionados con los vacíos de conocimiento, los fenómenos que todavía no cuentan con explicación aceptable o estudios contradictorios, del tema mencionado.

Esta investigación permitirá también determinar la vigencia del tema del aumento del rendimiento de los colectores solares, cuáles son los estudios más importantes (el posicionamiento) y cuales han sido los resultados de estos estudios.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 OBJETIVO GENERAL**

- Identificar las estrategias que se han utilizado para aumentar el rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura por medio de una revisión del estado de arte.

### **7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la vigencia y el posicionamiento del estudio en el aumento del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura.
- Revisar y analizar el contenido de las publicaciones sobre el aumento del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura, más posicionadas en la comunidad académica a lo largo de la historia y en los últimos cinco años.
- Caracterizar el estudio sobre el aumento del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura a lo largo de la historia y en los últimos cinco años.
- Identificar las oportunidades de investigación alrededor del aumento del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura.
- Divulgar los resultados de la revisión del estado del arte por medio de la postulación a publicación de un artículo a una revista especializada.

## 8. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las problemáticas que tiene la energía solar térmica es el deficiente mantenimiento preventivo que se hace en las instalaciones y el desconocimiento, por parte de los usuarios, del funcionamiento de este tipo de equipos. Por ejemplo, en la ciudad de Vitoria España, el 30% de las instalaciones de energía solar térmica no funcionan y 8 de cada 10 propietarios desconocen su funcionamiento. Asimismo los usuarios desconocen el ahorro económico que puede generar el uso de energía solar térmica, ya que en España se puede ahorrar aproximadamente 37 millones de Euros al año.<sup>1</sup>

Sería conveniente que hubiera un alto porcentaje de los sistemas solares térmicos en condiciones óptimas de funcionamiento, para generar una confianza del usuario en el uso de este tipo de energía. Con la confianza y conocimiento adquiridos, se facilita ejercer el derecho de reclamación de los servicios de mantenimiento y la generación de conciencia del ahorro energético.

Las razones que no han permitido llegar a la situación descrita en el párrafo anterior son: a) los sistemas solares térmicos trabajan en conjunto con sistemas energéticos convencionales, y por lo tanto, si el sistema solar no funciona correctamente, el sistema de soporte cubre las necesidades energéticas. Esto ocasiona que los usuarios no se preocupen por el funcionamiento adecuado de la instalación solar; b) los usuarios no son conscientes del ahorro energético, ya que no pueden medirlo, y por lo tanto sería fundamental la instalación de dispositivos que muestren la energía ahorrada y c) los proveedores no se han hecho responsables de dar capacitaciones o información básica del funcionamiento de este tipo de instalación a los usuarios.

---

<sup>1</sup> LÓPEZ Letón Sandra. El país. Paneles solares en el olvido. [En línea]. Disponible en: [http://economia.elpais.com/economia/2017/01/13/actualidad/1484299730\\_181495.html](http://economia.elpais.com/economia/2017/01/13/actualidad/1484299730_181495.html)

Cabe destacar que los avances tecnológicos recientes han demostrado que la energía solar térmica es cada vez más asequible, eficiente y que se está utilizando cada vez más en instalaciones para refrigeración y calefacción.

Esto la ha hecho más barata, según las autoridades energéticas de E.E.U.U y la Agencia Internacional de Energía. Las autoridades, también han informado que estas instalaciones solares han incrementado el suministro de energía de 1.2 gigavatios (GW) en el 2008 a 20 GW en 2016. Actualmente, esta cantidad es suficiente para abastecer las necesidades energéticas de, por ejemplo, 4 millones de casas estadounidenses (el equivalente a las ciudades de Austin y Seattle, durante un año). Por otro lado, América latina en el año 2014, por medio del uso de energía solar térmica se recolectó 10 GW de energía por medio de instalaciones solares térmicas. China y Europa recolectaron 289.5 GW y 47.5 GW, respectivamente y en conjunto representaron el 82,1% de la capacidad solar térmica instalada (la restante se reparte entre el resto del mundo). Los Estados Unidos y Canadá suministran 18,0 GW juntos. Del total instalado, el 94% de los sistemas térmicos solares instalados en el mundo proporcionan agua caliente.<sup>2</sup>

A pesar de que en el mundo se esté incrementando más los porcentajes de uso de los sistemas solares térmicos, sería interesante que para el año 2030 toda la población mundial tenga un consumo diario de agua caliente y de electricidad por medio de este sistema. También sería conveniente, que en América latina se alcanzara la recolección de energía solar térmica a 20 GW por año.

La falta de uso, de diseño y de construcción de instalaciones de energía solar térmica, no ha permitido que aumenten los porcentajes de recolección de energía en países desarrollados como EEUU y Canadá. En los países subdesarrollados, adicionalmente falta el apoyo económico y la iniciativa investigativa para desarrollar dispositivos e instalaciones, que puedan aumentar el porcentaje de recolección de energía solar.

---

<sup>2</sup> PIQUERAS Pedro. Univisión noticias. La energía solar térmica es la fuente más económica limpia para refrigerar y dar calefacción al mundo. [En línea]. Disponible en: <http://www.univision.com/noticias/medio-ambiente/la-energia-solar-termica-es-la-fuente-mas-economica-y-limpia-para-refrigerar-y-dar-calefaccion-al-mundo>

Por otro lado, en el sector residencial, preferiblemente se utiliza el gas natural a expensas del uso de energías renovables. Por ejemplo, en Argentina entre el 25% y el 30% del gas consumido se utilizan en el sector residencial. De este porcentaje, entre el 70% y 80% se usa para calentar agua o calefacción. El 20% de esta energía tiene el potencial de suplirse con gas natural utilizando energía solar térmica. Sería conveniente que las residencias actuales y las que vayan a construir, utilizaran más instalaciones de energía solar para la calefacción y calentamiento de agua sanitaria, con el fin de ahorrar gas natural a valores superiores del 20%.<sup>3</sup>

Se han reportado varios intentos para modificar el rendimiento de los colectores solares térmicos de baja temperatura: a) el del Ingeniero Rafael Rodríguez en la ciudad de Zacatecas, México, quien logró incrementar en un 3% el rendimiento térmico de colectores solares de placa plana manipulando la velocidad del flujo de fluido<sup>4</sup>; b) los diseños españoles de colectores solares térmicos CPC con tubos al vacío “ligeros”, que pesan sólo 18 kg y aprovechan de mejor manera la radiación solar<sup>5</sup>; c) los colectores solares españoles de placa plana tipo “slim”, con 30% menos de peso, más delgados pero conservando la misma área de captación y rendimiento que los colectores convencionales.<sup>6</sup>

Sería interesante observar que otras estrategias se han utilizado en los últimos 15 años para aumentar el rendimiento de los colectores solares de baja

---

<sup>3</sup> SKENTA. Energía solar térmica. Argentina podría ahorrar un 20% de gas natural. [En línea]. Disponible en: <http://www.skenta.com.ar/novedades/energia-solar-termica-argentina-podria-ahorro-de-energia-agua-caliente-solar>

<sup>4</sup> RODRÍGUEZ Erika. Agencia informativa Conacyt. Perfecciona calentador solar. [En línea]. Disponible en: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/5322-sistema-de-control-para-mejorar-el-rendimiento-de-un-calentador-solar-corregida>

<sup>5</sup> Energy news. Todo en energías. Nuevos captadores de tubos de vacío ligeros y eficientes para cubiertas solares. [En línea]. Disponible en: <http://www.energynews.es/nuevos-captadores-de-tubos-de-vacio-ligeros-y-eficientes-para-cubiertas-solares/>

<sup>6</sup> RASO Concha. Calor y Frio. Nuevo colector solar térmico de bajo espesor Slim de Baxi. [En línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/nuevo-colector-solar-termico-de-bajo-espesor-slim-de-baxi.html>



temperatura, y observar si tales estrategias han permitido obtener rendimientos por encima del 3%.

Esta falta de conocimiento se presenta en los investigadores del grupo GIDAD de la Fundación Universitaria Los Libertadores, quienes a través de este proyecto y de sus autores, plantean las siguientes preguntas de investigación:

*¿Cuáles son las condiciones actuales y los desafíos investigativos en el aumento del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura?*

## 9. MARCO CONCEPTUAL

### 9.1 ANTECEDENTES

Se han realizado diversas investigaciones con respecto al rendimiento de los colectores solares, donde se han utilizados más que todo los colectores de placa plana y los colectores tubos al vacío. Algunas de las revisiones que han expresado el estado del arte sobre el rendimiento de colectores solares térmicos son las siguientes:

El trabajo de Ulrich Frei,<sup>7</sup> denominado, hace referencia a los materiales y diseños que han llevado a mejorar sustancialmente el rendimiento y calidad de los colectores solares, entre 1980 y 2010, en el contexto de la Europa central. El estudio resalta que los nuevos materiales, diseños altamente optimizados y la producción a gran escala han proporcionado una mejora significativa en el rendimiento de los colectores.

La revisión realizada estudio por Garg et al., presenta diferentes diseños y características especiales de los colectores solares de tubos evacuados.<sup>8</sup>

En el estado del arte realizado por Kaushik et al., se presentó el uso de sistemas de colectores solares reflectores para el mejoramiento del rendimiento para el calentamiento de agua en Delhi, India. Por medio de un modelo analítico se encontró aumentos en el rendimiento solar del colector, del 44 % en invierno y del 15% en verano.<sup>9</sup>

Rakesh y Rosen, en su revisión, enuncian las ventajas de los colectores integrados (ICS-integrated collector-storage), para la calefacción de agua con energía solar.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> ULRICH Frei. Solar Thermal Collectors, state of the art and further development. Institut für Solartechnik SPF.

<sup>8</sup> H.P. Garg, S. Chakraverty, A. R. Shukla R. C. Agnihotri and Indrajit. Advanced tubular solar energy collector – A state of the art. Centre of energy studies, Indian.

<sup>9</sup> S. C. KAUSHIK, R. KUMAR, S. CHANDRA & S. KAUL. Solar collector reflector systems; state of art study and performance evaluation. Center for energy studies. Indian.

<sup>10</sup> RAKESH Kumar and Marc A. Rosen. Review of solar water heaters with integrated collector – storage units. University of Ontario. Canadá.

Las diferentes revisiones mencionadas anteriormente, hacen referencia a nuevos diseños, características especiales y materiales que se han utilizado para mejorar el rendimiento térmico de los colectores solares de baja temperatura. Sin embargo las revisiones investigativas van hasta el año 2010.

Por lo tanto se hace necesario hacer una revisión de nuevas investigaciones, estudios o avances han tenido para mejorar el rendimiento térmico de los colectores solares a baja temperatura en los últimos cinco años.

## **9.2 MARCO TEORICO**

### **9.2.1 ENERGIA SOLAR TÉRMICA**

La energía solar térmica o energía termosolar aprovecha la energía proveniente del sol por medio de colectores solares o paneles solares térmicos. La energía que se obtiene de éste tipo de energía es para calentar un fluido a diferentes temperaturas.

La energía solar térmica se clasifica en tres partes dependiendo de la temperatura:

- Baja temperatura; captación directa, la temperatura son menores a 65°C.
- Media temperatura; concentran la radiación solar para convertirla en calor útil, la temperatura del fluido esta entre 100°C y 300°C,
- Alta temperatura; las temperaturas son mayores a 300°C, son muy utilizadas para obtener energía eléctrica.

Esta investigación se concentrará en los colectores de baja temperatura, ya que en la ciudad de Bogotá la radiación es difusa, lo que no permite el uso eficiente de colectores solares de media y alta temperatura.

Los colectores solares de baja temperatura se encuentran fijados permanentemente en su posición y no hacen un seguimiento al sol. Se pueden clasificar en:

- Colectores de placa plana (FPC).
- Colectores de tubos al vacío (ETC).
- Colector parabólico compuesto (CPC)

La clasificación de los colectores solares de placa plana (FPC) son:

- Captadores vidriados: contienen una cubierta de cristal.
- Captadores no vidriados: no presentan cubierta que aisle el captador del exterior.

Los tubos del vacío se caracterizan por disponer de una ampolla de vidrio que aísla el interior del captador del ambiente<sup>11</sup>. Se pueden clasificar en:

- Heat pipe
- Flujo directo
- Sydney
- Schott
- Captadores CPC

Los captadores CPC se clasifican en<sup>12</sup>:

- el simétrico
- el asimétrico

Estos colectores tienen dos tipos principales de absorbedores, tipo de aleta con tubo y tubular absorbente.

---

<sup>11</sup> FERNÁNDEZ Salgado José M. Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica. Tipología de captadores solares de baja temperatura. 1ª ed. Madrid, 2010, p 52-53.

<sup>12</sup> KALOGIROU Soteris A. Solar thermal collectors and application. El Sevier, p 245

### 9.2.2 RENDIMIENTO DE COLECTORES SOLARES

El rendimiento térmico de los colectores solares puede determinarse mediante el análisis detallado de las características ópticas y térmicas de los materiales del colector y del diseño del colector. Se tiene en cuenta el análisis de transferencia de calor dependiendo de las incertidumbres de los coeficientes de transferencia de calor. Para llevar el análisis, se tiene que realizar pruebas en prototipos que se ensayan bajo condiciones ambientales ya definidas.

Por lo tanto para la verificación de las características experimentales son necesarias en todos los modelos de colectores fabricados.<sup>13</sup>

El momento de realizar una medición del rendimiento térmico de un colector solar, se deben tener en cuenta tres consideraciones: la primera es la determinación de la eficiencia instantánea con un haz de radiación normal en la superficie de absorción. La segunda es la determinación de los efectos del ángulo de incidencia en la radiación solar. La tercera es la determinación del colector a un tiempo constante, y medición de la capacidad calorífica efectiva.<sup>14</sup>

El rendimiento de los captadores se ensaya siguiendo un procedimiento que consiste en un banco de pruebas bajo condiciones estables de radiación solar, velocidad del viento, temperatura del fluido a la entrada y a la salida, y en un periodo de tiempo donde la temperatura ambiente y la energía útil extraída no varíen sensiblemente. El rendimiento de un catador solar plano es el cociente entre la energía útil captada y la recibida en un instante de tiempo.<sup>15</sup>

Para calcular el rendimiento de un colector solar plano se necesita la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_a G_t} \quad (1)$$

$\dot{m}$  = Flujo másico del agua [ $kg \ s^{-1}$ ]

$c_p$  = Calor específico del agua [ $J \cdot kg^{-1} \ K^{-1}$ ]

---

<sup>13</sup> KALOGIROU Soteris A. Solar energy engineering processes and systems. 2014. P221.

<sup>14</sup> Ibid P221

<sup>15</sup> TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p28.

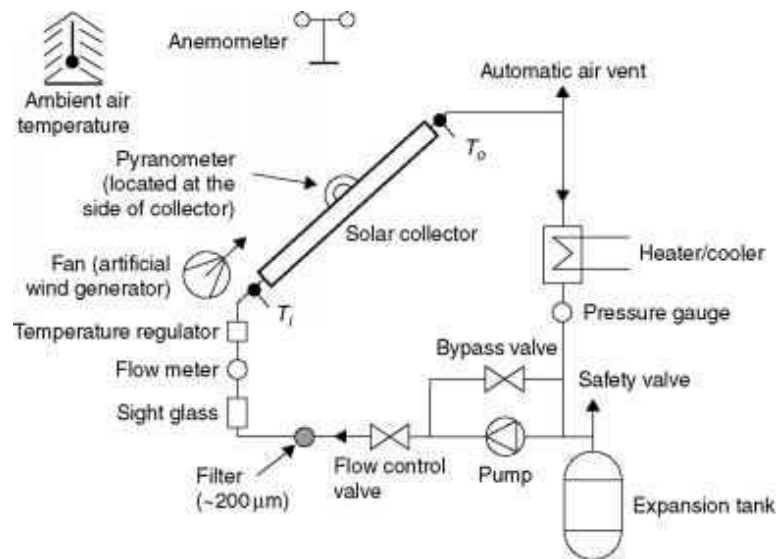
$T_{out}$  = Temperatura de salida del agua del colector [K]

$T_{int}$  = Temperatura de entrada del agua al colector [K]

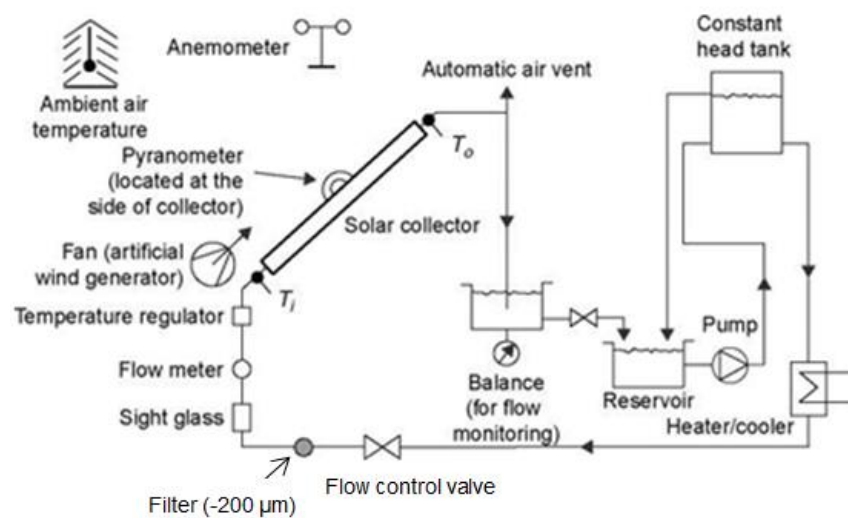
$G$  = Radiación absorbida por el colector [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$A$  = Área bruta del colector [ $m^2$ ]

El rendimiento térmico de los colectores se determina experimentalmente. Por medio de alguno de los dos montajes mostrados en las figuras 1 y 2:



**Figura 1. Sistemas de prueba de bucle cerrado.<sup>16</sup>**



**Figura 2. Sistemas de prueba de bucle abierto.<sup>17</sup>**

<sup>16</sup> KALOGIROU Soteris A. Solar energy engineering processes and systems. 2014. P222.

<sup>17</sup> Ibid. P223.

Sustituyendo en el numerador de la ecuación (1), con la ecuación de Bliss, se obtiene:

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_a G_t} = \frac{F_R S [ G * \tau * \alpha - U_0 * (t_m - t_a) ]}{A_a G_t} \quad (2)$$

Reduciendo y simplificando:

$$\eta = (F_R * \tau * \alpha) - [ F_R * U_0 * \frac{(t_m - t_a)}{G} ] \quad (3)$$

Dónde:

$F_R$  = Factor de eficacia

$S$  = Superficie del captador en  $m^2$

$\tau$  = Transmitancia de la cubierta transparente, o sea el vidrio.

$\alpha$  = Coeficiente de absorción de la placa absorbadora.

$U_0$  = Coeficiente global de perdidas ( $10 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$ ).

$t_m$  = Temperatura media

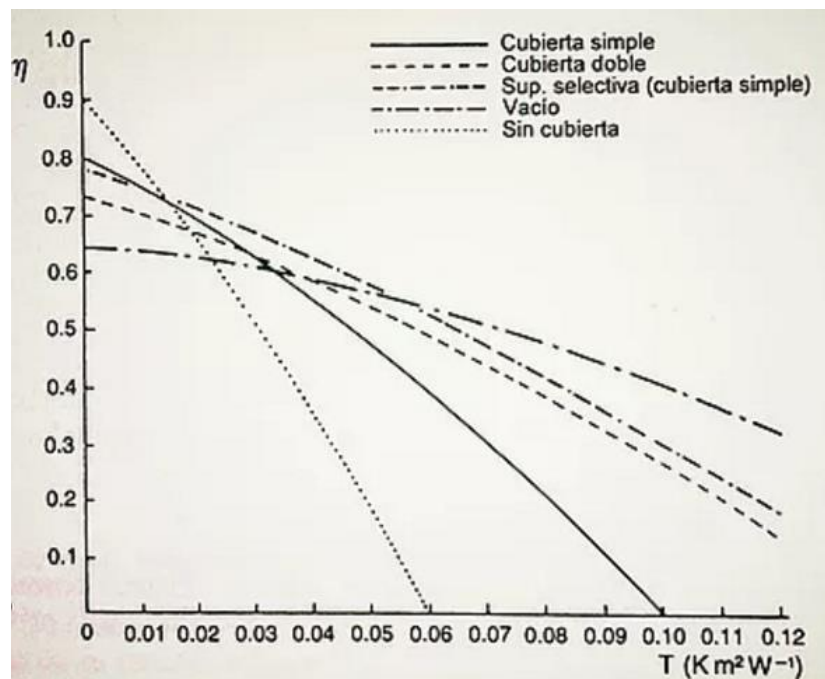
$t_a$  = Temperatura ambiente

El rendimiento de un captador solar se puede expresar como la ecuación de una recta, con la siguiente formula<sup>18</sup>:

$$\eta = b - m * x \quad (4)$$

---

<sup>18</sup> TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p38.



**Figura 3. Curvas de rendimiento de diferentes captadores solares planos**

El rendimiento de los colectores solares planos varían según su composición, varían entre 0,9 en captadores sin cubierta a 0,64 en captadores de vacío. Se considera que el rendimiento de un colector solar es diferentemente proporcional a la radiación solar.<sup>19</sup>

### **9.2.2 NORMAS PARA LOS ENSAYOS DEL RENDIMIENTO TÉRMICO**

Las normas más comunes para la descripción de los procedimientos de ensayos para el rendimiento térmico de los colectores solares son:

- ISO 9806-1:1994: Métodos de ensayo para colectores solares. Parte 1: Desempeño térmico de colectores con vidrio de calentamiento liquido considerando caída de presión.
- ASHRAE Standard 93: 2003: Métodos de pruebas para determinar el rendimiento térmico de colectores solares.

<sup>19</sup> TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p40.



Específica las condiciones de prueba para obtener cuatro puntos de datos para la curva de eficiencia. Las condiciones de prueba incluyen las siguientes:

1. Pruebas de ángulo de incidencia casi normal ( $i \leq 5^\circ$ ) cerca del mediodía solar
2. Al menos cuatro pruebas para cada  $T_f$ ,  $i$ , dos antes y dos después del mediodía solar.
3. Al menos cuatro valores diferentes de  $T_f$ ,  $i$  para obtener diferentes valores de  $\Delta T / I_c$ , preferiblemente para obtener  $\Delta T$  a un 10%, un 30%, un 50% y un 70% de aumento de temperatura de estancamiento en las condiciones dadas de intensidad solar y condiciones ambientales.

Dónde:

$T_f$  = Temperatura final

$i$  = Angulo de incidencia

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$I_c$  = Irradiación solar sobre una superficie del colector<sup>20</sup>.

Así como se rigen normar internacionales para la realización de ensayos para los colectores solares a baja temperatura. En Colombia la institución que rigüe las normas de ensayos es el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Por consiguiente se mencionan algunas de ellas:

- NTC 5434-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Colectores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.
- NTC 2461: Mecánica de colectores solares de placa plana para calentamiento de agua de consumo doméstico.
- NTC 2631: Energía solar. Medición de transmitancia y reflectancia fotométricas en materiales sometidos a radiación solar.
- NTC 2774: Máquinas y equipos, Energía solar. Evaluación de materiales aislantes térmicos empleados en colectores solares.

---

<sup>20</sup> D. Yogi Goswami. Principles of solar engineering. Thermal Performance. Third Edition, 2015. 162p.

- NTC 2960: Energía solar evaluación de materiales para cubiertas de colectores solares de placa plana.
- NTC 3322: -Energía solar. Sellos de caucho usados en colectores solares de placa plana.
- NTC 3507: Energía solar. Instalación de sistemas domésticos de agua caliente que funcionan con energía solar.
- NTC 4368: eficiencia energética. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes.

## 10. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

La metodología que se utilizará en este proyecto se basará en la descrita en el libro de Revisión sistemática de literatura en ingeniería<sup>21</sup>. Esta metodología consta de cuatro fases, que se describen a continuación:

- **Identificación:** tiene como misión localizar el espacio literario relevante (ELR). Comprende la selección de los términos de búsqueda, la elaboración del mapa de delimitación del ELR, el análisis de la vigencia del tema del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura, el análisis del posicionamiento de los estudios a lo largo de la historia y en los últimos cinco años y por último, ilustrar el control de calidad para determinar qué tanto representan los estudios recolectados al ELR.
- **Descripción:** tiene como misión precisar; en forma de síntesis, el contenido de cada uno de los estudios que conforma el ELR. Por medio de un estudio de campo se identificará las publicaciones más relevantes o posicionadas en la comunidad académica sobre el tema que se va a investigar y además, un control de calidad para evitar errores después de haber identificado las publicaciones con respecto al tema a investigar.
- **Profundización:** Tiene como misión identificar, cuantificar, analizar e interpretar las características globales del ELR. Aprender con base en la ocurrencia de sucesos, las tendencias, los vacíos de conocimiento, las perspectivas y los cambios a través del tiempo y en los últimos cinco años. También, se realizará un trabajo de campo exigiendo una visión de totalidades, centrando su interés en el conocimiento que arroja una serie de estudios y por medio de un control de calidad garantizar la calidad de los insumos necesarios para responder la pregunta de investigación.

---

<sup>21</sup> PÉREZ Rave Jorge Iván. Revisión sistemática de literatura en ingeniería. Ciencia y tecnología. Universidad de Antioquia, p 1-5

- **Divulgación:** tiene como misión poner al alcance de la comunidad académica y del público en general, la información relevante sobre la investigación realizada. En esta fase se elige el tipo de revista, el formato en el cual se va a trabajar, los ajustes y la postulación del documento para la publicación.

## 11.DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El desarrollo de la metodología, es para lograr los objetivos propuestos para deducir las condiciones actuales y los desafíos investigativos sobre el tema del estado del arte del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura. Por ende, se desarrollara de la siguiente manera:

### 11.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS TÉRMINOS DE BÚSQUEDA

En esta sección se dará a conocer cómo se determinaron las palabras claves con las cuales se realizó la búsqueda de los estudios relacionados con el tema del rendimiento térmico de colectores solares de baja temperatura.

En primer lugar, se identificaron las palabras claves, producto de la familiarización con el tema en la etapa de anteproyecto. Estas fueron: *solar collectors performance*, *solar collectors thermal performance*, *low temperature solar collectors* y *solar collectors thermal efficiency*.

Con estos términos, se procedió a iniciar una búsqueda de documentos en buscadores convencionales tales como Wikipedia, Google y en páginas relacionadas con el tema de investigación como por ejemplo, sitios web [www.solar-energia.net](http://www.solar-energia.net) y [www.energiasolartermica.biz](http://www.energiasolartermica.biz). En los documentos encontrados se procedió a mirar en los títulos, palabras claves y referencias, en donde se encontraron otros términos de búsqueda importantes tales como: *solar collectors curves*, *solar collectors performance characterization test*, *characterization of solar thermal systems*.

Con los términos seleccionados en el anteproyecto como en los buscadores convencionales, se realizó una búsqueda en las bases: Engineering Source y Science Direct. En esta búsqueda se encontraron los siguientes términos: *coefficient of thermal performance of solar collectors*, *solar collectors energy efficiency*, *solar collectors performance test*, *solar collectors maximum efficiency*, *solar collectors factor efficiency*.

Finalmente los términos de búsqueda más adecuados y no adecuados para realizar la revisión se muestra en la tabla 1. Los términos de búsqueda no adecuados se descartaron porque desvía el enfoque de la investigación.

NO ADECUADOS	ADECUADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• solar collectors curves</li> <li>• solar collectors performance characterization test</li> <li>• coefficient of thermal performance of solar collectors</li> <li>• solar collectors energy efficiency</li> <li>• solar collectors performance test</li> <li>• solar collectors maximum efficiency</li> <li>• solar collectors factor efficiency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solar collectors performance</li> <li>• Solar collectors thermal performance</li> <li>• Characterization of solar thermal systems</li> <li>• Low temperature solar collectors</li> <li>• Solar collectors thermal efficiency</li> </ul>

**Tabla 1. Identificación de los términos de búsqueda.**

## **11.2 MAPA DE DELIMITACIÓN DEL ESPACIO LITERARIO RELEVANTE (ELR)**

El mapa de delimitación del ELR, es un protocolo de revisión basado en mapas mentales para integrar los productos de formulación y sistematización de la pregunta general de investigación así como de la selección de los términos de búsqueda.

Como se muestra en el anexo 1, el mapa de ELR, se muestra la fecha de la búsqueda con los términos seleccionados anteriormente. Así mismo, se evidencia los diferentes campos de planeación que se utilizaron en el mapa, así como términos de búsqueda, búsqueda de artículos, áreas donde se aplica el proyecto de investigación (ingeniería, energía solar, energía aplicada y energía renovable), periodos de observación (comúnmente años, desde el primer artículo relacionado con el tema, como en los últimos cinco años). En resumidas cuentas, con el fin de conocer la cantidad exacta a la fecha de

artículos relacionados con el tema del proyecto y luego recolectar información adecuada que nos permita desarrollar el proyecto de investigación.

### 11.3 VIGENCIA DEL TEMA

Aplicando los términos de búsqueda en las bases de datos Engineering Source y Science Direct, se encuentran las áreas de investigación, que son las áreas más relevantes, es decir, se presenta más artículos relacionados con el rendimiento térmico de colectores solares. Se evidencia en las tablas 2 al 6.

<b>TÉRMINO DE BÚSQUEDA</b>	<b>Engineering Source</b>		<b>Science Direct</b>	
	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>
Solar collectors performance	Solar Energy	55	Solar Energy	3.654
	Energy conversion & management	28	Fuel and Energy Abstracts	2.918
	Energy	13	Renewable Energy	1.515
	renewable & sustainable energy reviews	11	Energy	1.243
	journal of solar energy engineering	9	Applied Energy	1.202
	Applied Energy	8	Applied Thermal Engineering	1.038

**Tabla 2. Resultados de áreas con el término Solar collectors performance.**

<b>TÉRMINO DE BÚSQUEDA</b>	<b>Engineering Source</b>		<b>Science Direct</b>	
Solar collectors thermal performance	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>
	Solar Energy	55	Solar Energy	3.181
	Energy conversion & management	28	Fuel and Energy Abstracts	2.746
	Energy	13	Renewable Energy	1.364
	renewable & sustainable energy reviews	11	Energy	1.159
	journal of solar energy engineering	9	Applied Energy	1.111
	Applied Energy	8	Applied Thermal Engineering	1.038

**Tabla 3. Resultados de áreas con el término Solar collectors thermal performance.**



TÉRMINO DE BÚSQUEDA	Engineering Source		Science Direct	
	ÁREA	# ARTÍCULOS	ÁREA	# ARTÍCULOS
Characterization of solar thermal systems	A causa del resultado que se presentó en esta base de datos no generaron áreas de investigación, porque no cuenta con artículos suficientes.		Solar Energy Materials and Solar Cells	2.128
			Fuel and Energy Abstracts	1.702
			Applied Surface Science	1.391
			Solar Energy	971

**Tabla 4. Resultados de áreas con el termino Characterization of solar thermal systems.**

<b>TÉRMINO DE BÚSQUEDA</b>	<b>Engineering Source</b>		<b>Science Direct</b>	
	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>
Low temperature solar collectors	Solar Energy materials & solar cells	11	Solar Energy	3.261
	journal of solar energy engineering	7	Fuel and Energy Abstracts	2.404
	Solar Energy	7	Renewable Energy	1.372
	Desalination	6	Energy	1.144
	Energy conversion & management	6	Applied Energy	1.055
	Energy	3	Applied Thermal Engineering	992

**Tabla 5. Resultados de áreas con el termino Low temperature solar collectors.**

<b>TÉRMINO DE BÚSQUEDA</b>	<b>Engineering Source</b>		<b>Science Direct</b>	
Solar collectors thermal efficiency	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>	<b>ÁREA</b>	<b># ARTÍCULOS</b>
	Solar Energy	25	Solar Energy	3.037
	Energy conversion & management	13	Fuel and Energy Abstracts	2.683
	Applied Energy	4	Renewable Energy	1.320
	Energy & buildings	4	Energy	1.146
	Journal of cleaner production	4	Applied Energy	1.031
	Applied mechanics & mateterials	3	Applied Thermal Engineering	942

**Tabla 6. Resultados de áreas con el termino Solar collectors thermal efficiency.**

Por último, en la tabla 7, se muestra las áreas relevantes con la mayor cantidad de artículos. Como resultado en las tablas 2 al 6, se demostró que en las dos bases de datos presentaron las mismas áreas de investigación con la mayoría de los términos de búsqueda. Por esta razón, se escogieron las áreas similares para realizar la búsqueda de artículos.

<b>ÁREAS</b>	<b>PROMEDIO DE ARTÍCULOS</b>
Solar Energy	2.820
Applied Energy	1.099
Energy	1.173
Applied Thermal Engineering	1.002
Fuel and Energy Abstracts	2.490

**Tabla 7. Áreas de investigación con promedios de artículos.**

La vigencia del tema, identifica los artículos relacionados con el rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura, desde el primer artículo en la base de datos, hasta la actualidad.

Las bases de datos seleccionadas y nombradas anteriormente, brindan la facilidad de realizar una búsqueda avanzada y experta. Por lo tanto, se filtran los términos de búsqueda para obtener mejores resultados y se presentan artículos acorde con los términos de búsqueda. Teniendo en cuenta que, estas filtraciones presentan lugares de búsqueda que son: el título (Ti), resumen (AB) y palabras clave (KW) y también utilizan conectores lógicos. En la tabla 8 se puede apreciar los filtros encontrados en cada base de datos.

Engineering Source	Science Direct
TI solar collectors performance OR AB solar collectors performance OR KW solar collectors performance OR TI Solar collectors thermal performance OR AB Solar collectors thermal performance OR KW Solar collectors thermal performance OR TI Solar collector thermal efficiency OR AB Solar collector thermal efficiency OR KW Solar collector thermal efficiency OR TI Low temperature solar collectors OR AB Low temperature solar collectors OR KW Low temperature solar collectors	TITLE-ABSTR-KEY (Solar collectors performance) or TITLE-ABSTR-KEY (Solar collectors thermal performance) or TITLE-ABSTR-KEY (Characterization of solar thermal systems) or TITLE-ABSTR-KEY (Low temperature solar collectors) or TITLE-ABSTR-KEY (Solar collector thermal efficiency) AND LIMIT- TO(cids, "271459,271098,271641,271429,271 090","Solar Energy,Fuel and Energy Abstracts,Applied Thermal Engineering,Applied Energy,Energy").

**Tabla 8. Filtraciones de búsqueda para la vigencia del tema.**

El día 27 de Noviembre de 2017, se realizó la búsqueda en la bases de datos con las filtraciones y se encontraron la siguiente cantidad de artículos: en Engineering Source se encontró 335 documentos y en Science Direct 2464 documentos.

Es decir, Science Direct tiene mayor cantidad de documentos a comparación de Engineering Source. De tal manera que, se realiza una operación (Ecu. 5) para saber cuánto es el porcentaje que tiene esta base de datos con respecto a la otra y se obtuvo como resultado un 13,59% de documentos de más.

$$\frac{\# \text{ documentos de Engineering Source} * 100}{\# \text{ documentos de Science Direct}} \quad (5)$$

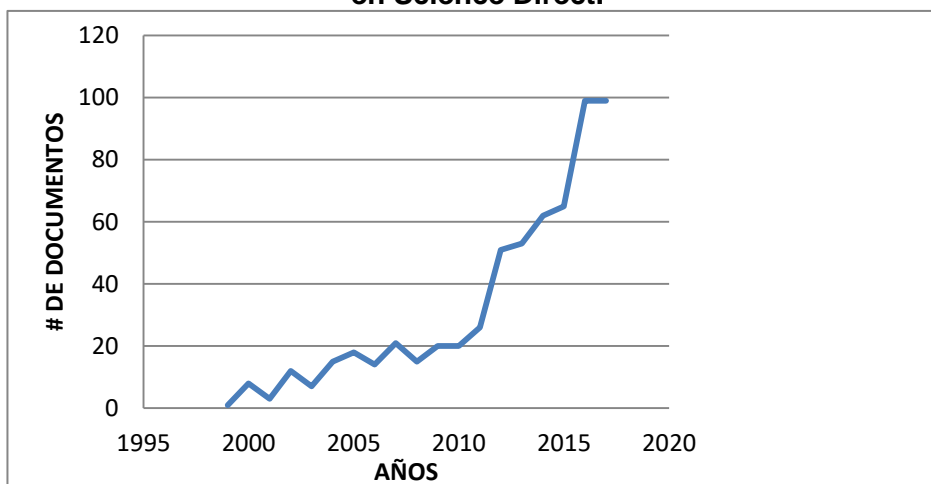
$$\frac{335 * 100}{2464} = 13.59\%$$

Para conocer la cantidad de documentos que se incrementa cada año para la vigencia del tema se mostrara en las tablas 9 y 10.

<b>AÑO</b>	<b># DE DOCUMENTOS</b>
1999	33
2000	23
2001	26
2002	32
2003	34
2004	38
2005	28
2006	39
2007	43
2008	48
2009	67
2010	76
2011	101
2012	120
2013	170

2014	202
2015	190
2016	242
2017	299

**Tabla 9. Cantidad de documentos por año en Science Direct.**

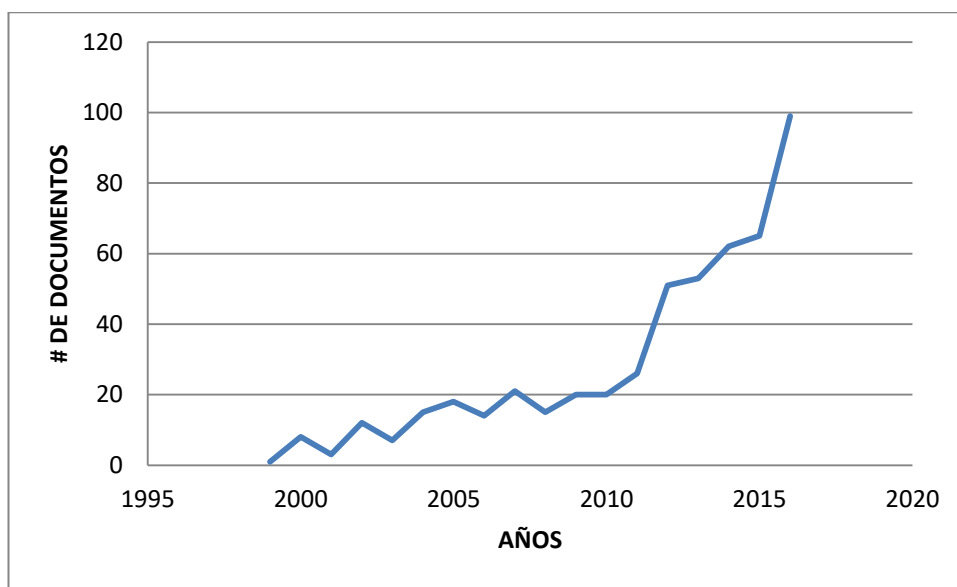


**Figura 4. Grafica de la vigencia del incremento de documentos por años en Science Direct**

<b>AÑO</b>	<b># DE DOCUMENTOS</b>
1999	1
2000	8
2001	3
2002	12
2003	7
2004	15
2005	18
2006	14
2007	21
2008	15
2009	20
2010	20
2011	26
2012	51
2013	53

2014	62
2015	65
2016	99
2017	99

**Tabla 10. Cantidad de documentos por año Engineering Source**



**Figura 5. Grafica de la vigencia del incremento de documentos por años en Engineering Source.**

Como se puede observar en las figuras 4 y 5, anualmente va incrementando los documentos relacionados con el estado del arte del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura. Esto conlleva a que el grupo de investigación GIDAD, pueda seguir conociendo e investigando a cerca de este tema, ya que para la comunidad científica e ingeniería es vigente este tipo de temas.

#### **11.4 POSICIONAMIENTO DEL TEMA HISTÓRICO.**

En el posicionamiento del tema, conlleva a determinar los documentos con más citaciones por los investigadores y parte de dos periodos de tiempo. Donde el primero es posicionamiento histórico. En este periodo, se realiza la búsqueda aplicando el filtro con el lugar de búsqueda que es solo el título (Ti) (Tabla 11). El segundo periodo, la búsqueda es similar con una sola diferencia que es aplicar el periodo de tiempo de los 5 años, en este caso desde el 2013 a 2017.

Engineering Source	Science Direct
TI solar collectors performance OR TI collector thermal performance OR TI Characterization of solar thermal systems OR TI low temperature solar collector OR TI solar collectors thermal efficiency	TITLE (Solar collectors performance) or TITLE (Solar collectors thermal performance) or TITLE (Characterization of solar thermal systems) or TITLE (Low temperature solar collectors) or TITLE (Solar collector thermal efficiency)

**Tabla 11. Filtraciones de búsqueda para el posicionamiento histórico del tema.**

En la búsqueda de documentos con las filtraciones de búsqueda, en la base de datos Science Direct arrojó 238 y Engineering Source arrojó 158 documentos, estos resultados son para el periodo del posicionamiento histórico. Por otra parte, se realizó la búsqueda con el periodo de tiempo de los últimos 5 años y se obtuvo como resultado en Science Direct arrojó 98 y en Engineering source arrojó 58 documentos.

### **11.5 POSICIONAMIENTO DEL TEMA EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS.**

En esta parte de la metodología, se selecciona el Top 10 de los artículos más citados a lo largo de la historia y en los últimos cinco años desde el 2013 a 2017. Teniendo en cuenta que se aplica el mismo filtro con el lugar de búsqueda que es el título (Ti). El top 10 se representa en las tablas 12 y 13.



Engineering Source		Science Direct	
Artículo	# citaciones	Artículo	# citaciones
Predicted efficiency of a Low-temperature Nanofluid-based direct absorption solar collector	238	An experimental investigation on the effect of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors	225
Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors	115	Performance evaluation of a low-temperature solar Rankine cycle system utilizing R245fa	127
Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary estándar and daily conditions.	107	Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters	107
Prediction of flat-plate collector performance parameters using artificial neural networks	63	Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles	64
Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe	53	Thermal performance of a water-phase change material solar collector	56
Investigation on thermal performance calculation of two type solar air collectors using artificial neural network.	48	Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media	51
Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer	39	Heat transfer performance analysis of a solar flat-plate collector with an integrated metal foam porous structure filled with paraffin	51
Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans.	36	Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions	35
Thermal performance of flat plate solar collector using various arrangements of compound honeycomb	31	Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong	35

Thermal performance of gas-filled flat plate solar collectors	28	Thermal performance of flat-plate solar collectors manufactured in india.	18
---	----	---	----

**Tabla 12. Top 10 del posicionamiento histórico.**

Engineering Source		Science Direct	
Artículo	# citaciones	Artículo	# citaciones
Performance of direct absorption solar collector with nanofluid mixture	30	An experimental investigation on the effect of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors	225
Experimental Study on the Performance of a Flat-Plate Collector Using WO <sub>3</sub> /Water Nanofluids	22	Performance evaluation of a low-temperature solar Rankine cycle system utilizing R245fa	127
Analysis on the performance of a flat-plate volumetric solar collector using blended plasmonic nanofluid	19	Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters	107
Evaluation of flat plate solar collector using nanofluids	14	Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles	64
Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid	11	Thermal performance of a water-phase change material solar collector	56
Performance Analysis of Flat-Plate Solar Collector Having Silver Nanofluid as a Working Fluid.	10	Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media	51
Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical carbon dioxide as heat transfer fluid	9	Heat transfer performance analysis of a solar flat-plate collector with an integrated metal foam porous structure filled with paraffin	51

Cnstant temperature induced stresses in evacuated enclosures for high performance flat plate solar thermal collectors.	7	Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions	35
Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays.	6	Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong	35
Theoretical investigation of the thermal performance of evacuated heat pipe solar collector with optimum tilt angle under various operating conditions	6	Thermal performance of flat-plate solar collectors manufactured in india.	18

**Tabla 13. Top 10 del posicionamiento en los últimos 5 años (2013-2017)**

## 11.6 CONTROL DE CALIDAD

El siguiente punto trata del desarrollo del control de calidad, esto busca realizar un enfoque más detallado en el contenido de los documentos. Luego, se aplica los filtros para realzar una búsqueda en los documentos revisando los títulos y resúmenes para la cantidad completa de documentos que se obtuvieron y para el Top 10. Dicho lo anterior, se puede determinar si los documentos cuentan con la información de calidad o no están relacionados con el tema de interés. Para ser más específicos, si los documentos cumplen con el control de calidad se dará por terminado este proceso, pero si llega a presentar un documento que no esté relacionado con el tema, se procederá a descartar el documento del Top 10.

Posición	Título	Autor (es)	Año	Revista	Tipo	Citas	Cumple
1	An experimental investigation on the effect of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors.	Tooraj Yousefi, Farzad Veysi, Ehsan Shojaeizadeh, Sirus Zinadini	2012	Renewable energy	Artículo	225	Si
2	Performance evaluation of a low-temperature solar Rankine cycle system utilizing R245fa.	X.D. Wang, L. Zhao, J.L. Wang, W.Z. Zhang, X.Z. Zhao, W. Wu	2010	Solar Energy	Artículo	127	Si
3	Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters	I. Budihardjo, G.L. Morrison	2009	Solar Energy	Artículo	107	Si
4	Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles	Runsheng Tang, Yuqin Yang, Wenfeng Gao	2011	Solar Energy	Artículo	64	Si
5	Thermal performance of a water-phase change material solar collector	Ahmet Kurklu, Aziz O zmerzi, Sefai Bilgin	2001	Renewable Energy	Artículo	56	Si
6	Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media	K Sopian, Supranto, W.R.W Daud, M.Y Othman, B Yatim	1999	Renewable Energy	Artículo	51	Si
6	Heat transfer performance analysis of a solar flat-plate collector with an integrated metal foam porous structure filled with paraffin	Zhenqian Chen, Mingwei Gu, Donghua Peng	2010	Applied Thermal Engineering	Artículo	51	Si
7	Performance of a two-phase closed thermosyphon solar collector with a shell and tube heat exchanger	S.A Nada, H.H El-Ghetany, H.M.S Hussein	2004	Applied Thermal Engineering	Artículo	43	Si
8	Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions	Michel Hayek, Johnny Assaf, William Lteif	2011	Energy Procedia	Artículo	35	Si

8	Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong	Tin-Tai Chow, Zhaoting Dong, Lok-Shun Chan, Kwong-Fai Fong, Yu Bai	2011	Energy and Buildings	Artículo	35	Si
9	Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater	Bo-Ren Chen, Yu-Wei Chang, Wen-Shing Lee, Sih-Li Chen	2009	Solar Energy	Artículo	32	Si
10	Performance study of a novel solar air collector	Donggen Peng, Xiaosong Zhang, Hua Dong, Kun Lv	2010	Applied Thermal Engineering	Artículo	26	Si

**Tabla 14. Top 10 de los documentos más citados y su posición Histórica. En Science Direct.**

Posición	Título	Autor (es)	Año	Revista	Tipo	Citas	Cumple
1	Predicted efficiency of a Low-temperature Nanofluid-based direct absorption solar collector	Himanshu Tyagi, Patrick Phelan, Ravi Prasher	2009	Solar Energy Engineering	Artículo	238	Si
2	Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors	M. Augustus Leon, S. Kumar	2007	Solar Energy	Artículo	115	Si
3	Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary estándar and daily conditions.	E. Zambolin, D. Del Col	2010	Solar Energy	Artículo	107	Si
4	Prediction of flat-plate collector performance parameters using artificial neural networks	Kalogirou, Soteris A.	2006	Solar Energy	Artículo	63	Si
5	Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe	M.S. Hossain, R. Saidur, H. Fayaz, N.A. Rahim, M.R. Islam, J.U. Ahamed, M.M. Rahman.	2011	Renewable & Sustainable Energy Reviews	Artículo	53	Si

6	Investigation on thermal performance calculation of two type solar air collectors using artificial neural network	Murat Caner, Engin Gedik, Ali Kecebas	2011	Expert Systems with Application	Artículo	48	Si
7	Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer	Hawladar, M.N.A Rahman, S.M.A Jahangeer, K.A.	2008	Energy Conversion & Management	Artículo	39	Si
8	Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans.	Gabriela.Álvarez Arce, J. Lira, L. Heras, M.R	2004	Solar Energy	Artículo	36	Si
9	Thermal performance of flat plate solar collector using various arrangements of compound honeycomb	Abdullah, A.H Abou-Ziyan, Ghoneim, A.A,	2003	Energy Conversion & Management	Artículo	31	Si
10	Thermal performance of gas-filled flat plate solar collectors	Vestlund, Johan Rönnelid, Mats Dalenbäck, Jan-Olof	2009	Solar Energy	Artículo	28	Si

**Tabla 15. Top 10 de los documentos más citados y su posición Histórica. En Engineering Source.**

Posición	Título	Autor (es)	Año	Revista	Tipo	Citas	Cumple
1	Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO <sub>2</sub> /EG–water nanofluids	Saleh Salavati Meibodi, Ali Kianifar, Hamid Niazmand, Omid Mahian, Somchai Wongwises	2015	International Communications in Heat and Mass Transfer	Artículo	45	Si
2	Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors	A. Sakhrieh, A. Al-Ghandoor	2013	Energy Conversion and Management	Artículo	40	Si
3	Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors	M.A. Sabiha, R. Saidur, Saad Mekhilef, Omid	2015	Renewable and Sustainable	Artículo	32	Si

		Mahian		e Energy Reviews			
4	The use of nanofluids for enhancing the thermal performance of stationary solar collectors: A review	Mahmud Jamil Muhammad, Isa Adamu Muhammad, Nor Azwadi Che Sidik, Muhammad Noor Afiq Witri Muhammad Yazid, Rizalman Mamat, G. Najafi	2016	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Artículo	31	Si
5	Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids	M.A. Sabiha, R. Saidur, S. Hassani, Z. Said, Saad Mekhilef	2015	Energy Conversion and Management	Artículo	29	Si
6	Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate	L.M. Ayompe, A. Duffy	2013	Applied Thermal Engineering	Artículo	28	Si
7	Thermal performance of direct-flow coaxial evacuated-tube solar collectors with and without a heat shield	Xinyu Zhang, Shijun You, Hongchuan Ge, Yan Gao, Wei Xu, Min Wang, Tao He, Xuejing Zheng	2014	Energy Conversion and Management	Artículo	14	Si
8	Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers	Davide Del Col, Andrea Padovan, Matteo Bortolato, Marco Dai Prè, Enrico Zambolin	2013	Energy	Artículo	13	Si

9	Theoretical and experimental analysis of thermal performance of a solar water heating system with evacuated tube heat pipe collector	Roonak Daghigh, Abdellah Shafieian	2016	Applied Thermal Engineering	Artículo	7	Si
10	Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors	Alireza Ahmadi, Davood Domiri Ganji, Farzad Jafarkazemi	2016	Energy Conversion and Management	Artículo	6	Si

**Tabla 16. Top 10 de los documentos más citados y posicionamiento de 2013 a 2017. En Science Direct.**

Posición	Título	Autor (es)	Año	Revista	Tipo	Citas	Cumple
1	Performance of direct absorption solar collector with nanofluid mixture	Mustafa Turkyilmazoglu	2016	Energy Conversion & Management	Artículo	30	Si
2	Experimental Study on the Performance of a Flat-Plate Collector Using WO <sub>3</sub> /Water Nanofluids	Mahmoud Ahmed Sharafeldin Gyula Grof Omid Mahian	2017	Energy	Artículo	22	Si
3	Analysis on the performance of a flat-plate volumetric solar collector using blended plasmonic nanofluid	Jongwook Jeon Sunho Park Bong Jae Lee	2016	Solar Energy	Artículo	19	Si
4	Evaluation of flat plate solar collector using nanofluids	Sujit KUMAR Verma	2016	Energy Conversion and Management	Artículo	14	Si
5	Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid	Sujit KUMAR Verma Arun Kumar Tiwari Durg Singh Chauhan	2016	Energy Conversion and Management	Artículo	11	Si



6	Performance Analysis of Flat-Plate Solar Collector Having Silver Nanofluid as a Working Fluid.	Chuan Sun, Yuting Liu, Chen Duan, Yao Zheng, Huawei Chang, Shuiming Shu	2014	Heat Transfer Engineering	Artículo	10	Si
7	Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical carbon dioxide as heat transfer fluid	Jahar Sarkar	2013	International Journal of Sustainable Energy.	Artículo	9	Si
8	Constant temperature induced stresses in evacuated enclosures for high performance flat plate solar thermal collectors.	Paul Henshall, Philip Eames, Farid Arya, Trevor Hyde, Roger Moss, Stan Shire	2016	Solar Energy	Artículo	7	Si
9	Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays.	Ting-ting Zhu, Yao-hua Zhao, Yan-hua Diao, Feng-Fei Li, Zhen-hua Quan.	2017	Journal of Cleaner Production.	Artículo	6	Si
10	Theoretical investigation of the thermal performance of evacuated heat pipe solar collector with optimum tilt angle under various operating conditions	Hyeongmin Kim, Yijie Tong, Honghyun Cho	2016	Journal of Mechanical Science & Technology	Artículo	5	Si

**Tabla 17. Top 10 de los documentos más citados y posicionamiento de 2013 a 2017. En Engineering Source.**

Las tablas están compuestas por: posición, título, autor (es), año, revista, tipo, citas y cumple. Es necesario recalcar que, la casilla “cumple” se puso para afirmar si los documentos representan el tema de investigación o no.

Se puede observar que en las tablas 14 y 15 se sacó el Top 10 de los documentos más citados y el posicionamiento histórico a lo largo de la historia en Science Direct y Engineering Source. Después, en las tablas 16 y 17 se sacó el Top 10 de los documentos más citados y el posicionamiento histórico de los últimos cinco años con las mismas bases de datos.

## 11.7 DESCRIPCIÓN DE LOS DOCUMENTOS ENCONTRADOS

A continuación, como parte de la metodología se describirá el contenido más relevante de los artículos. Es decir, enfatizando en los modelos, montajes experimentales, simulaciones entre otras aplicaciones y resultados de estos. Por lo tanto esta información sea de gran ayuda al grupo GIDAD y/o otros investigadores que estén familiarizados con el tema del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura para sus futuras investigaciones. A continuación se presentaran los artículos más relevantes con el tema de investigación:

La energía renovable se puede considerar como una fuente de energía alternativa para satisfacer la creciente demanda de energía debido a la escasez y el agotamiento continuo de los combustibles convencionales. La fuente más disponible de energía renovable en la tierra es la energía solar, ya que la tierra recibe una gran cantidad de energía proveniente del sol. Los fluidos convencionales que se usan como medio de transferencia de calor en colectores solares adolecen de malas propiedades térmicas y de absorción de calor. Se ha encontrado que estos fluidos convencionales tienen una capacidad limitada para calentar, lo que a su vez limita el rendimiento del colector. HUSSEIN Ahmed <sup>22</sup>, hacen una revisión de los avances recientes relacionados con la aplicación de la nanotecnología en diferentes tipos de colectores solares. Los trabajos revisados incluyen trabajos teóricos, numéricos y experimentales actualizados relacionados con las aplicaciones de nanofluidos en la placa plana, absorción directa, canal parabólico, ondulado, tubo de calor y otros tipos de colectores solares. La aplicación de nanofluidos en dispositivos de energía térmica como los colectores solares se desarrolla día a día. M.A. Sabiha <sup>23</sup>, realizaron un estudio experimental para determinar la eficiencia térmica de un colector solar de tubos al vacío, utilizando nanofluidos de nanotubos de

---

<sup>22</sup> HUSSEIN Ahmed. Applications of nanotechnology to improve the performance of solar collectors – Recent advances and overview. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.; 63. (Sep. 2016). P.767-792.

<sup>23</sup> M.A. Sabiha. Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 105. (Nov. 2015); P. 1377-1388.

carbono de pared simple y en los resultados obtuvieron que la eficiencia mejoro con los nanofluidos a un 93.43% en comparación con el agua como fluido de trabajo. Ellos sugieren que los nanofluidos se utilicen como fluidos de trabajo en un colector de tubos al vacío para absorber el calor de la radiación solar y para convertir la energía solar en energía térmica de manera eficiente. También, Ali K. Abdel<sup>24</sup>, realizaron una investigación experimental en la ciudad de New Borg El-Arab, Alejandría, Egipto de acuerdo con el estándar ASHRAE 86-9 para estudiar el efecto del uso de nanofluidos de alumina “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O” como fluido de trabajo para dos sistemas similares de calentadores de placa plana utilizando agua pura y al mismo tiempo nanofluidos, en la misma ubicación y condiciones similares. Obtuvieron como resultados, que el uso de nanofluidos de 0.15% de partículas de alúmina mejora la eficiencia térmica en 18%. Así mismo, TOORAJ Yousefi<sup>25</sup>, realizaron un estudio experimental similar al anterior, ellos utilizaron el mismo nanofluido que es alumina “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O” como fluido de trabajo, sobre la eficiencia de un colector solar de placa plana con una fracción de nanopartículas de 0,2% en peso. En contraste con los resultados anteriores, muestran que en comparación con el agua como medio de adsorción que usa nanofluidos como flujo de trabajo, aumenta la eficiencia a un 28.3% con el peso de 0,2%. Igualmente, JANUSZ <sup>o</sup>T<sup>26</sup>, muestra los resultados experimentales del rendimiento de un colector solar de placa plana con agua-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluido como fluido de trabajo. Ellos realizaron pruebas con dos radiaciones solares diferentes que son: 1050 W / m<sup>2</sup> y 400 W / m<sup>2</sup> y concluyeron que al reducir la radiación solar produce una disminución en la eficiencia de los colectores.

---

<sup>24</sup> ALI K. Abdel. Experimental study of alumina nanofluids effects on thermal performance efficiency of flat plate solar collectors. En: Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Vol.; 15 (Nov2017). P123-128.

<sup>25</sup> TOORAJ Yousefi. An experimental investigation on the effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. En: Renewable Energy. Vol.; 39. (Maz. 2012). P. 293-298.

<sup>26</sup> JANUSZ <sup>o</sup>T. Performance of the flat plate solar collector operated with water-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid. En: Applied Mechanics & Materials. Vol.; 831 (2016), P181-187.

SALEH Salavati<sup>27</sup>, realizaron un estudio experimental con un colector solar de placa plana donde el fluido de trabajo es nanofluido de agua de Dióxido de Silicio SiO<sub>2</sub> / etilenglicol EG-agua con fracciones de volumen de 1%. Realizaron las pruebas para fracciones de volumen de 0, 0.5%, 0.75% y 1% a diferentes velocidades de flujo másico. Puesto que, los resultados mostraron que cuando el parámetro de pérdida de calor se limita a cero, un aumento en la concentración de nanofluido de 0 a 1% da como resultado una mejora de la eficiencia de aproximadamente entre 4 y 8%. Dicho lo anterior, M.D. Dalwadi<sup>28</sup>, realizaron un experimento utilizando el mismo nanofluido (Dióxido de Silicio SiO<sub>2</sub>) y un colector de placa plana. Trabajaron dos fracciones de volumen diferentes que son: 0.01% a 0.1% de SiO<sub>2</sub> nanofluido, La eficiencia y la temperatura de salida del colector de placa plana solar que usa nanofluido de SiO<sub>2</sub> aumenta en comparación con el agua como fluido de trabajo hasta una fracción de volumen de 0.08%. Sacaron como resultado el aumento porcentual máximo en la eficiencia del colector solar de placa plana es 80.40% para el caso de 0.08% de concentración de volumen de nanofluido de SiO<sub>2</sub>.

De igual manera, en un estudio experimental con fluido de trabajo un nanofluido de SiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, se investiga el rendimiento térmico en un colector solar placa plana con el canal relleno de espuma porosa en metal. El cual muestra un aumento de eficiencia térmica de un 8.1%. Como resultados anteriores JAVANIYAN H<sup>29</sup>, recomienda utilizar medios porosos y nano fluidos para aumentar drásticamente la eficiencia térmica. CHUAN Sun<sup>30</sup>, estudiaron sobre el rendimiento térmico de colectores solares de placa plana, utilizando agua mezclada con nanofluido de plata como fluido de trabajo con concentraciones de 1000 y 10000 ppm. Tomaron este nanofluido debido a su alta conductividad térmica ya que extrae más calor del colector solar en comparación con el agua normal, y así el rendimiento del colector se puede

---

<sup>27</sup> SALEH Salavati. Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO<sub>2</sub>/EG–water nanofluids. En: International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol.; 65. (Jul. 2015). p. 71-75.

<sup>28</sup> M.D. Dalwadi. Enhancement of thermal performance of solar flat plate collector using SiO<sub>2</sub> nanofluid. En: Journal on Future Engineering & Technology. Vol.; 12 (May-Jul.2017), P33-40.

<sup>29</sup> JAVANIYAN H. Effects of porous material and nanoparticles on the thermal performance of a flat plate solar collector: An experimental study. En: Renewable Energy. Vol.; 114, Part 3. (Dic. 2017). P. 1407-1418.

<sup>30</sup> CHUAN Sun. Performance Analysis of Flat-Plate Solar Collector Having Silver Nanofluid as Working Fluid. En: Heat Transfer Engineering. Vol.; 35. (Aug2014), P1183-1191.

mejorar. Los resultados experimentales mostraron que, el coeficiente de transferencia de calor por convección del nanofluido dentro del tubo absorbente solar a 1,000 ppm era ligeramente más alto que el del agua, y a 10,000 ppm, el coeficiente de transferencia de calor era aproximadamente 2 veces el de agua. Por consiguiente, la concentración de 10000 ppm de nano partículas de plata bajo condiciones de estado estacionario  $1.2 \text{ kg / min-m}^2$ , fueron  $0.691$  y  $4.869 \text{ W / m}^2\text{-K}$  que es la radiación y para la concentración de 1000 ppm fue  $0.702$  y  $8.318 \text{ W / m}^2\text{-K}$ . De lo anterior concluyeron que, para otras velocidades de flujo másico, el nanofluido también podría mejorar el rendimiento del colector solar. MAHMOUD A<sup>31</sup>. llevaron a cabo un estudio experimental para presentar las curvas de eficiencia de un colector solar de placa plana con el uso de nanofluido de agua WO<sub>3</sub> (tríóxido de wolframio) como fluido de trabajo. La estabilidad del nanofluido WO<sub>3</sub>-agua fue de 7 días. y examinaron diferentes fracciones de volumen de 0.0167%, 0.0333% y 0.0666% a tres velocidades de flujo másico, incluyendo 0.0156, 0.0183 y 0.0195 kg / s.m<sup>2</sup>. Los experimentos y resultados aclaran que el uso de nanofluido WO<sub>3</sub>-agua aumenta la eficiencia del colector solar a un 13.48% para la fracción de volumen del 0,036% y la tasa del flujo másico del 0,0195 Kg/s.m<sup>2</sup> más que el uso exclusivo de agua a un 13.48%. Recientemente, el nanofluido se ha utilizado como fluido de transferencia de calor para mejorar el rendimiento de los dispositivos colectores solares. AHMADI Alireza<sup>32</sup>, investigan experimental y teóricamente el rendimiento de colectores solares de placa plana con nanofluidos de grafeno como fluido de trabajo. Las pruebas solares experimentales se realizaron en la sucursal del sur de Teherán de la Universidad Azad. Estos experimentos se realizaron de acuerdo con la Norma ISO con un ángulo de inclinación de 35° (ISO 9806). Concluyeron que la conductividad térmica de nanofluidos se mejorar aumentado la temperatura. Por esta razón aumento la eficiencia térmica del colector solar hasta un 18.87%. Los autores, MAHMUD J<sup>33</sup>, revisan

<sup>31</sup> MAHMOUD A. Experimental study on the performance of a flat-plate collector using WO<sub>3</sub>/Water nanofluids. En: Energy. Vol.; 141. (Dic.2017). P. 2436-2444

<sup>32</sup> AHMADI Alireza. Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 126. (Oct. 2016). P. 1-11.

<sup>33</sup> MAHMUD J. The use of nanofluids for enhancing the thermal performance of stationary solar collectors: A review. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.; 63. (Sep. 2016). p. 226-236.

el progreso reciente y las aplicaciones de nanofluidos en colectores solares estacionarios. También, también el impacto del uso de nanofluidos en el colector solar en función de los puntos de vista económicos y ambientales. Plantean los principales desafíos en nanofluidos para dispositivos solares, estos se relacionan principalmente con el alto costo del nanofluido debido a las limitaciones de producción, la inestabilidad y la aglomeración de nanopartículas, el poder de bombeo y la caída de presión.

Por otra parte, WANDONG Zheng<sup>34</sup>, estudia experimentalmente el rendimiento termico y dinámico de tres nuevos colectores solares de aire que son: placa corrugada perforante, placa perforada y empaque corrugado en regiones frías y frías severas. Estudiaron los efectos de la intensidad de la radiación, la temperatura del aire de entrada, la velocidad del flujo en la eficiencia térmica y la temperatura del aire de salida. Indicaron que la eficiencia térmica de los tres colectores en regiones frías severas podría ser mucho mayor que 50% y el colector con placa corrugada perforante tenía la mayor eficiencia térmica. También, determinaron que las caídas de presión de los colectores con placa corrugada perforante eran un poco más grandes que los colectores con placa perforada, pero la eficiencia térmica y la temperatura del aire de salida eran más altas. Por lo tanto, el colector con placa corrugada perforante es más adecuado para usar en regiones frías y frías severas.

T. VASANTHA Malliga<sup>35</sup>, en el presente estudio, desarrollaron un absorbente nanoestructurado. Además, desarrollaron un colector solar integrado con el absorbente recubierto con nanografía, óxido de cobre CuO y un deflector. Los resultados de los análisis térmicos revelaron que la mejora máxima de la temperatura del fluido de trabajo fue de 59.4 ° C, y el rendimiento térmico máximo del colector fue del 68%. TING-TING zhu<sup>36</sup>, realizaron un estudio experimental para evaluar el rendimiento térmico de un colector de aire solar de tubo de vacío que se basa en microrredes de tuberías de calor (MHPA),

---

<sup>34</sup> WANDONG Zheng Experimental investigation of the transpired solar air collectors and metal corrugated packing solar air collectors. En: Energies (19961073). Vol., 10 (Mar2017), P1-12. 12p. 1 Color Photograph, 3 Diagrams, 2 Charts, 7 Graphs.

<sup>35</sup> T. VASANTHA Malliga. Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays. En: Journal of Cleaner Production. Vol., 142, (Jan2017), p3517-3526.

<sup>36</sup> TING-TING zhu. Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays. En: Journal of Cleaner Production. Vol., 142, (Jan2017), p3517-3526.

muestran que el colector de aire solar con tubo de vacío basado en MHPA exhibe un buen rendimiento de alta eficiencia térmica, bajo costo, pequeña caída de presión y bajo consumo de energía. Este colector tradujo una eficiencia térmica del 70% con una intensidad de radiación solar de 800 W/m<sup>2</sup>. WEI Chang<sup>37</sup>, hacen un análisis teórico y la investigación experimental sobre el rendimiento térmico del colector de aire solar con absorbedor de aletas, analizan los efectos del ángulo de ajuste, el flujo medio y el modo de entrada de aire en el rendimiento del colector de aire solar. Mostraron que el error entre el modelo del cálculo teórico y la prueba experimental esta alrededor del 9%. JIE Deng<sup>38</sup>, estudian un análisis el rendimiento térmico de un colector de aire solar de placa plana de paso único en el caso de una superficie de deposición de polvo severa. Ellos presentan la relación matemática entre la incertidumbre estándar combinada de la eficiencia térmica prevista y las incertidumbres de los resultados experimentales. Y obtienen los parámetros característicos del colector, tales como el factor de eliminación de calor del colector, el factor de eficiencia de flujo del colector y los coeficientes de pérdida de calor total. Concluyen que la eficiencia térmica prevista en el caso de la superficie de deposición de polvo severa disminuye en un 10.7% - 21.0%. Por otro lado, se encontraron investigaciones más enfocadas en los colectores de placa plana, según JAHAR Sarkar<sup>39</sup>, realizo un análisis energéticos y exegéticos de un colector solar de placa plana utilizando CO<sub>2</sub> supercrítico y agua. Estudio los efectos de varios parámetros operativos, de diseño y metrológicos sobre los rendimientos energéticos y exegéticos. Dado que logro obtener un mayor valor del coeficiente de transferencia de calor en el colector solar de placa plana para la temperatura de salida de los fluidos de hasta 50 – 60 ° C. como resultado, evaluó la mejora del rendimiento utilizando CO<sub>2</sub> como fluido de transferencia

---

<sup>37</sup> WEI Chang. The Theoretical and Experimental Research on Thermal Performance of Solar Air Collector with Finned Absorber. En: Energy Procedia. Vol.; 70. (May. 2015); p 13-22.

<sup>38</sup> JIE Deng. Experimental Study of a Single-pass Flat Plate Solar air Collector with Severe Dust Deposition on the Transparent Glass Cover. En: Energy Procedia. Vol.; 70. (May. 2015); p 32-40.

<sup>39</sup> JAHAR Sarkar. Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical carbon dioxide as heat transfer fluid. En: International Journal of Sustainable Energy. Vol.; 32 (Dec2013), P531-543.

de calor y obtuvo un 18% de rendimiento. PAUL Henshall<sup>40</sup>, se centró en este documento en el diseño de recintos de vacío para colectores solares de placa plana, identifican los materiales del sello potencial y examinan sus limitaciones. Presentan los resultados de modelado de elementos finitos de un estudio que investiga cómo se esfuerza mecánicamente la cubierta de vidrio, para comprender las tensiones. YUECHAO Deng<sup>41</sup>, diseñan y fabrican un nuevo colector solar de placa plana convencional, que utiliza un recubrimiento selectivo solar de conjunto de micro con tubo de calor como absorbente. El colector tiene como ventaja de resistir al congelamiento, alta capacidad de transferencia de calor, pérdida de calor relativamente baja y prevención de fugas. Como resultado las eficiencias térmicas promedio diarias son 71.05%, 64.25% y 50.49%, respectivamente. MARCO Cozzini<sup>42</sup>, se centraron el análisis del rendimiento del campo solar, mediante la comparación de la eficiencia del campo medido con la eficiencia nominal del colector y señalando los efectos transitorios. Compararon las eficiencias medidas con las eficiencias nominales que obtuvieron de las pruebas de laboratorio en colectores individuales. Por último la capacidad térmica no la midieron experimentalmente, sino la calcularon de manera simplificada, según el tipo y peso de los materiales usados. S. Saedodin<sup>43</sup>, han llevado a cabo investigaciones experimentales y numéricas sobre el efecto de la espuma metálica porosa en el rendimiento de un colector solar de placa plana. Los materiales porosos, especialmente las espumas porosas de metal, tienen un gran uso en sistemas solares tales como reactores termoquímicos solares y colectores solares térmicos. Dado que los receptores de materiales porosos tienen un área de superficie de contacto alta por unidad de radiación solar y pueden amortiguar el vórtice de fluido en el canal, por lo tanto, son opciones efectivas para la generación de energía en reactores termoquímicos solares. Sacaron resultados numéricos y

---

<sup>40</sup> PAUL Henshall. constant temperature induced stresses in evacuated enclosures for high performance flat plate solar thermal collectors. En: Solar Energy. Vol. 127, (Apr2016), p250-261.

<sup>41</sup> YUECHAO Deng. Experimental Study of the Thermal Performance for the Novel Flat Plate Solar Water Heater with Micro Heat Pipe Array Absorber. En: Energy Procedia. Vol.;70. (May. 2015). P 41-48.

<sup>42</sup> MARCO Corzine. Performance Analysis of a Flat Plate Solar Field for Process Heat. En: Energy Procedia. Vol.; 91. (Jun. 2016). P. 11-19.

<sup>43</sup> S. Saedodin. Performance evaluation of a flat-plate solar collector filled with porous metal foam: Experimental and numerical analysis. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 153. (Dic. 2017). p. 278-287.



experimentales y demostraron que el uso del medio poroso aumenta la eficiencia térmica máxima y el número de Nusselt hasta 18,5% y 82%, respectivamente. De igual manera, K Sopian<sup>44</sup>, presentan una configuración experimental diseñada para estudiar el rendimiento térmico en un rango de condiciones de diseño y operación de un colector solar de doble paso con y sin medios porosos. Este tipo de colector con medios porosos, tiene un rendimiento térmico más alto en comparación con el colector solar convencional de un solo paso. La eficiencia térmica típica del colector de doble paso con medios porosos es de aproximadamente 60 a 70%. Además, la eficiencia del colector solar de doble paso con medios porosos es 20 a 70% mayor que el colector sin medios porosos. DAVIDE Del Col<sup>45</sup>, diseñan un nuevo prototipo de colector solar de placa plana acristalada con una placa absorbente de unión por laminación de aluminio. Realizan un estudio experimental y de modelado del uso de paneles de unión por laminación como absorbentes en colectores solares acristalados de flujo directo. Miden la eficiencia térmica con fines comparativos en colectores de placa plana estándar con revestimiento negro y selectivo y colectores de placa plana de unión por rodillo con revestimiento negro y semiselectivo. La eficiencia térmica la miden para dos muestras del prototipo, una con un recubrimiento negro en el absorbente y la otra con un recubrimiento semiselectivo. Las pruebas de eficiencia se llevan a cabo en condiciones estables y cuasi dinámicas. L.M. Ayompe<sup>46</sup>, diseño un sistema de escala domestico de circulación forzada disponible comercialmente equipado con un subsistema automático, este sistema controla la extracciones de agua caliente para imitar la demanda de agua caliente en las viviendas domésticas. Se controló el rendimiento térmico durante un año, obtuvieron una eficiencia del colector que fue del 45.6% y la eficiencia del sistema fue 37.5%. R.C. Tiwari<sup>47</sup>, los autores presentan el rendimiento térmico de cinco colectores solares de placa plana con diferentes

---

<sup>44</sup> K Sopian. Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media. En: Renewable Energy. Vol.; 18. (Dic. 1999). P. 557-564

<sup>45</sup> DAVIDE Del Col. Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers. En: Energy. Vol.; 58. (Sep. 2013). P. 258-269.

<sup>46</sup> L.M. Ayompe. Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. En: Applied Thermal Engineering. Vol.; 58. (Sep. 2013). P. 447-454.

<sup>47</sup> R.C. Tiwari. Thermal performance of flat-plate solar collectors manufactured in India. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 31. (1991). P. 309-313

materiales fabricados en la India, el rendimiento térmico de los colectores lo evalúan sobre la base de los resultados de las pruebas obtenidas en el Centro de Energía Solar. El rendimiento termico lo determinan midiendo varios parámetros, como la insolación solar, la temperatura ambiente, las temperaturas del fluido en la entrada y la salida del colector y la velocidad del viento.

P. Selvakumar<sup>48</sup>, desarrollan un estudio experimental de un nuevo sistema con colector de tubo de vacío que utiliza aceite sintético Therminol D-12 como fluido de transferencia de calor acoplado a un filtro parabólico para la generación instantánea de agua caliente en presencia de baja irradiación solar. El experimento se lleva a cabo entre las 06:00 a 09:00 horas de la mañana. La eficiencia de calentamiento alcanzó 80% a las 06:30 h. La temperatura del agua alcanzó 68 C máximo a 540 W / m<sup>2</sup>. I. Budihardjo<sup>49</sup>, implementan un procedimiento para simular el rendimiento de los calentadores de agua solares de tubo de vacío con revestimiento de agua, donde ellos hacen una comparación con los colectores solares de placa plana y muestran que un sistema de tubo de vacío tiene un ahorro de energía del 70.8% y es ligeramente menor que un sistema de placa plana ya que él ahora es de 77%. CHOW. Tin-Tai<sup>50</sup>, realizan trabajos experimentales y numéricos sobre la evaluación del rendimiento de los dos tipos comunes de calentadores solares de tubo de vacío para aplicaciones domésticas de agua caliente. El primero es sistema de termosifón abierto monofásico y el segundo es sistema de termosifón cerrado de dos fases, llevaron estas pruebas en periodos de invierno y verano. El rendimiento térmico diario del colector solar termosifónico cerrado de dos fases es mayor que el diseño de termosifón abierto monofásico.

---

<sup>48</sup> P. Selvakumar. Performance study on evacuated tube solar collector using therminol D-12 as heat transfer fluid coupled with parabolic trough. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 85. (Sep. 2014). P. 505-510.

<sup>49</sup> I. Budihardjo. Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. En: Solar Energy. Vol.; 83.(Ene. 2009). P 49-56

<sup>50</sup> CHOW. Tin-Tai. Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong. En: Energy and Buildings. Vol.; 43. (Dic.2011). P. 3467-3474

HAYEK Michel<sup>51</sup>, investigan el rendimiento general de los colectores solares en condiciones climáticas locales que se encuentran a lo largo de la costa oriental del mar Mediterráneo. Se consideran y prueban dos tipos de colectores de forma experimental: los diseños de agua en vidrio y tubos de calor. Los experimentos se llevaron bajo las condiciones del invierno, el cual tienen una eficiencia general de colectores de tubo de calor de 15 a 20% más alta que la de los colectores de agua en vidrio.

M.A. Sabiha<sup>52</sup>, hicieron una revisión exhaustiva sobre el por qué es preferible el uso de colectores de tubo de vacío. Encontraron que los colectores de tubo a vacío tienen mayor eficiencia que los de placa plana, son más eficientes para ser utilizado a una temperatura de funcionamiento más alta. Se descubrió que el colector funciona mucho mejor con nanofluidos como fluido de trabajo en lugar de fluidos de trabajo convencionales como agua y aire. E. Zambolin<sup>53</sup>, realizaron pruebas comparativas con dos diferentes colectores solares. Un colector placa plana acristalada y un colector de tubo de vacío. Se rigen a la norma EN 12975-2, para luego comparar resultados en métodos de prueba estacionarios y cuasi-dinámicos. Los resultados lo presentaron en términos de eficiencia daría versus diferencia de temperatura promedio diaria reducida, esto permite representar las características comparativas de los dos colectores cuando se trabaja bajo condiciones variables y especialmente con un amplio rango de ángulo de incidencia. PUTRA Nandy<sup>54</sup>, diseñaron, fabricaron y determinaron el rendimiento de un colector solar con tubos de vacío y tubería de calor. Este experimento usó una lámpara halógena de 150 vatios como simulador del sol, utilizando una aleta de cobre para recoger el calor del sol y transferir el calor a las tuberías de calor. El colector solar de tubo de vacío basado en tubos de calor dobles tiene el mejor rendimiento con una eficiencia del sistema de 34.95% y resistencia térmica de 0.37 K / W mediante el uso de

---

<sup>51</sup> HAYEK Michel. Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions. En: Energy Procedia. Vol.; 6. 2011. P. 618-626

<sup>52</sup> M.A. Sabiha. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.; 51 (Nov. 2015). P. 1038-1054.

<sup>53</sup> E. Zambolin. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary estándar and daily conditions. En: Solar Energy. Vol.; 84 (Aug2010),2-1396. 15p.

<sup>54</sup> PUTRA Nandy. Performance of the solar collector with vacuum tubes and dual heat pipes based on wick length variation. En: Applied Mechanics & Materials. Vol.; 819 (2016), P147-151.

tubería de calor. A.E. Kabeel<sup>55</sup>, hicieron un estudio experimental para mejorar el rendimiento térmico del colector solar de tubo de vacío de vidrio mediante el uso de un tubo de calor coaxial modificado. Donde trabajaron con dos refrigerantes que fueron R22 y R 134a, examinaron el efecto del ángulo de inclinación del tubo de vacío sobre el rendimiento térmico del colector de tubo solar evacuado para obtener el ángulo de inclinación óptimo durante el período de experimentación, Con estos refrigerantes, los resultados muestran que la máxima eficiencia térmica alcanzó el 67% con un caudal másico de 0.009 kg/ s. KIM Hyeongmin<sup>56</sup>, desarrollaron un modelo teórico para investigar el rendimiento térmico bajo condiciones de operación variables y verificado experimentalmente. Luego, investigaron por medio de una simulación la eficiencia y la ganancia de calor de un colector solar con radiación recolectada bajo varios ángulos de inclinación. Demostraron que la eficiencia del colector aumentará rápidamente con la radiación en situaciones de baja radiación, mientras se mantiene relativamente estable con altas radiaciones. Los resultados de la simulación se usaron para determinar el colector y encontraron que la eficiencia varía con las condiciones externas. Xianhua Nie<sup>57</sup>, presentan un estudio experimental del rendimiento térmico de colector tubular de vidrio evacuado tipo U (U-ETC), utilizando el fluido de trabajo a una temperatura de entrada inferior a la temperatura ambiente, específicamente, que cumpla con la condición que la temperatura sea inferior a 0°C. En donde resulta que la eficiencia térmica es más alta a temperatura negativa que en condiciones comunes. A una temperatura reducida negativa, las eficiencias térmicas aumentan a medida que disminuye la temperatura reducida y la velocidad de crecimiento disminuye gradualmente. Y. GAO<sup>58</sup>, presentan modelos matemáticos y soluciones que consideran el rendimiento térmico del colector de tubo solar evacuado en U, que tienen en cuenta la distribución de

---

<sup>55</sup> A.E. Kabeel. Augmentation of thermal efficiency of the glass evacuated solar tube collector with coaxial heat pipe with different refrigerants and filling ratio. Vol.; 138. (Abr. 2017). P. 286-298.

<sup>56</sup> KIM Hyeongmin. investigation of the thermal performance of evacuated heat pipe solar collector with optimum tilt angle under various operating conditions. En: Journal of Mechanical Science & Technology. Vol.; 30 (Feb. 2016). P. 903-913.

<sup>57</sup> Xianhua Nie. Experimental study on thermal performance of U-type evacuated glass tubular solar collector with low inlet temperature. En: Solar Energy. Vol.; 150. (Jul. 2017); P. 192-201.

<sup>58</sup> Y. GAO. Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector. En: Solar Energy. Vol.; 107. (Sep. 2014); p 714-727.

temperatura a lo largo del eje y el radio del tubo. Aseguran que, la eficiencia térmica de un colector no aumentará ciertamente con el aumento de la longitud. Además, tanto la longitud del tubo grande como la pequeña no son favorables para la eficiencia térmica, investigaron la dependencia de la eficiencia térmica de las condiciones meteorológicas y los parámetros importantes del diseño del tubo, incluido el tamaño del tubo, las características térmicas (índice de flujo, coeficiente de pérdida de calor, coeficiente de absorción del revestimiento absorbente selectivo).

TONG Yijie<sup>59</sup>, diseñaron y construyeron un colector solar de tubo en U evacuado de tipo cerrado (EEUSC) con alta eficiencia y bajo costo. También, Emplearon una aleta de cobre en el tubo en U para asumir un flujo de calor constante, además, para aumentar la eficiencia de transferencia de calor desarrollaron un nuevo método que consiste en llenar el espacio con líquido de alta conductividad térmica. El fluido que utilizaron es nanofluidos de nanotubos de carbono de pared múltiple como fluido de trabajo. Mostraron como resultados que la eficiencia del colector influenciada principalmente por el espacio de aire y que aumenta en un 4% con el uso del nanolíquido.

ROONAK Daghigh<sup>60</sup>, llevaron un estudio a cabo para evaluar teórica y experimentalmente el rendimiento de un sistema solar de calentamiento de agua con colector de tubo de calor de tubo de vacío. Primero se presentó un modelo matemático para evaluar el rendimiento del sistema de calentamiento de agua solar de tubería de calor y luego el sistema dado se construyó y se probó experimentalmente de acuerdo con un modelo de consumo real. Al finalizar la toma de datos la eficiencia térmica alcanzo un nivel máximo de 5,4%, con una temperatura de salida de 64°C. X.D. Wang<sup>61</sup>, presenta un sistema de ciclo de Rankine solar a baja temperatura que utiliza R245fa como fluido de trabajo, con las condiciones climáticas típicas en Tianjin, China. Se diseñó, construyó y probó el sistema experimental, tanto para los colectores

---

<sup>59</sup> TONG Yijie. Effects of thermal performance of enclosed-type evacuated U-tube solar collector with multi-walled carbon nanotube/water nanofluid. En: Renewable Energy. Vol.; 83. (Nov. 2015). P. 463-473

<sup>60</sup> ROONAK Daghigh. Theoretical and experimental analysis of thermal performance of a solar water heating system with evacuated tube heat pipe collector. En: Applied Thermal Engineering. Vol.; 103. (Jun. 2016). P. 1219-1227.

<sup>61</sup> X.D. Wang. Performance evaluation of a low-temperature solar Rankine cycle system utilizing R245fa. En: Solar Energy. Vol.; 84. (Mar. 2010). P. 353-364

solares de tubo vacío como los colectores solares de placa plana. Debido a la inercia térmica, el colector evacuado es mucho más eficiente y estable que el colector plano plana. La eficiencia promedio del colector de vacío es del 71,6%, mientras la placa plana es del 55,2%. MILOSTEAN Daniela<sup>62</sup>, utilizan información de la literatura sobre las soluciones técnicas desarrolladas por los investigadores, para aumentar la eficiencia térmica de los colectores solares de placa plana. Al analizar la información de la literatura, concluyeron que el método más estudiado mediante el cual se puede aumentar la eficiencia térmica de los colectores de placa plana es mediante la sustitución del fluido de trabajo convencional por nanofluidos y nanoplaquetas de grafeno. Los resultados muestran un aumento en la eficiencia térmica en comparación con el agua. SHI Yanhua<sup>63</sup>, realizaron un estudio comparativo sobre el rendimiento térmico del colector solar de placa plana mediante simulación numérica bajo las condiciones de diferentes espesores y materiales de placa absorbente. Los resultados muestran que el aumento del espesor de la placa de absorción contribuye a restringir la pérdida de convección. La eficiencia del colector se nivela cuando el espesor de la placa absorbedora alcanza cierto valor. Al considerar el rendimiento térmico y el costo de producción, el aluminio es un material óptimo para la placa de absorción. KURKLU Ahmet<sup>64</sup>, desarrollaron un nuevo tipo de colector solar y se investigó su rendimiento térmico a corto plazo, consistía en dos secciones contiguas, una llena de agua y la otra con un material de cambio de fase (PCM) con un rango de fusión y congelación de aproximadamente 45-50 ° C, es decir, cera de parafina en este estudio. El material de cambio de fase funcionaba como un material de almacenamiento de energía para la estabilización, teóricamente, de la temperatura del agua y como material de aislamiento debido a su bajo valor de conductividad térmica.

---

<sup>62</sup> MILOSTEAN Daniela. An overview on the flat-plate solar collectors and their thermal efficiency. En: Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Vol.,; 15 (Nov2017), P123-128.

<sup>63</sup> SHI Yanhua. Numerical Simulation Study on Optimization of Solar Flat-plate Collector. En: Applied Mechanics & Materials. (2014), P523-527.

<sup>64</sup> KURKLU Ahmet. Thermal performance of a water-phase change material solar collector. En: Renewable Energy. Vol.,; 26. (Jun. 2001). P. 391–399.

IORDANOU G<sup>65</sup>, en este documento describen el desarrollo de un modelo de parámetro agrupado y demuestra su aplicación práctica. El modelo matemático de parámetros agrupados es un instrumento útil que se utilizan para determinar las dimensiones de diseño y el rendimiento operativo de los colectores solares en la etapa de diseño. El modelo matemático, incorpora datos del diseño de Dinámica de Fluidos Computacional relevante y las investigaciones experimentales, puede proporcionar una precisión aceptable en las predicciones y lo utilizan como una herramienta de diseño efectiva.

A. Sakhrieh<sup>66</sup>, llevo una investigación experimental del rendimiento térmico, la eficiencia y la fiabilidad de cinco tipos de colectores solares. Los sistemas involucrados en este estudio son los colectores de cobre, cobre y aluminio selectivos de revestimiento azul y negro, además de los colectores de tubos de vacío. Exponen que los colectores de cobre selectivos de recubrimiento de tubo azul y negro de vacío se recomiendan para aplicaciones de mediana y gran escala debido a su larga vida útil y fácil mantenimiento. Los colectores de aluminio se recomiendan para aplicaciones pequeñas como casas. Concluyeron que el colector solar de tubo de vacío tiene la mayor eficiencia, seguido de colectores solares revestidos de negro y azul. El colector de aluminio ocupa el cuarto lugar. La eficiencia más baja está reservada para el colector de cobre. RUNSHENG Tang<sup>67</sup>, construyeron y probaron dos calentadores solares de agua de tubo de vidrio con agua-en-vidrio. Ambos colector de agua solar (SWH) eran idénticos en todos los aspectos, pero tenían un ángulo de inclinación del colector diferente del horizonte con el inclinado a 22 (SWH-22) y el otro a 46 (SWH-46). Realizaron dos experimentos, el primero estaba dirigido a investigar los efectos del ángulo de inclinación del colector en la eficiencia de conversión térmica diaria de sistemas y el otro estaba dirigido a investigar los efectos del ángulo de inclinación del colector sobre las

---

<sup>65</sup> IORDANOU G. G. Iordanou. Development of a mathematical lumped parameters model for the heat transfer performance of a solar collector. En: Journal of Engineering Science & Technology Review. Vol., 6, ( 2013), P5-9.

<sup>66</sup> A. Sakhrieh. Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors. En: Energy Conversion and Management. Vol., 65.(Ene.2013). P. 715-720.

<sup>67</sup> RUNSHENG Tang. Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles. En: Solar Energy. Vol., 85. (Jul. 2011). P. 1381-1389.

características del flujo de agua dentro de los tubos solares. VENKATESH R<sup>68</sup>. Trabajan con colectores solares multipropósito, el tanque de almacenamiento del colector de agua solar convencional se modifica como tubos ascendentes y cabecera. Lo instalan en la parte inferior del calentador de aire solar como un absorbente en el calentador de aire normal. El rendimiento térmico del calentador de agua solar con placa plana de termosifón lo investigan tanto en verano como en invierno.

Por otra parte, SÖZEN Adnan<sup>69</sup>, desarrollaron una nueva fórmula basada en la técnica de red neuronal artificial, para determinar la eficiencia de los colectores solares de placa plana. En la práctica, el modelo se puede usar para modelar la eficiencia de los colectores solares con estructuras complejas cuando otros modelos pueden tener dificultades. El tema más importante en este estudio es obtener una ecuación basada en ángulos de incidencia básicos y datos meteorológicos para predecir la eficiencia del colector solar usando la red neuronal artificial. Este estudio demuestra que se puede usar esta red en lugar de la simulación de modelos matemáticos en eficiencia. De igual manera, TYAGI Himanshu<sup>70</sup>. En este estudio, construyen dos tipos de colectores solares de aire y los examinan experimentalmente. Estos los denominan tipo de superficie absorbente en zigzag y tipo de superficie plana absorbente denominado modelo I y modelo II. Realizaron los experimentos entre 10.00 y las 17.00 h en agosto y septiembre bajo las condiciones climáticas en Karabuk – Turquía durante 5 días. Los rendimientos térmicos experimentales los calculan con los datos obtenidos de las pruebas que realizan. También, diseñan un modelo de red neuronal artificial para estimar el rendimiento térmico de los colectores solares de aire.

---

<sup>68</sup> VENKATESH R. Performance Analysis of Solar Water Heater in Multipurpose Solar Heating System. En: Applied Mechanics & Materials. (2014), P1706-1713.

<sup>69</sup> SÖZEN Adnan. Determination of efficiency of flat-plate solar collectors using neural network approach. En: Expert Systems with Applications. Vol.; 35. (Nov. 2008). P. 1533-1539.

<sup>70</sup> TYAGI Himanshu. Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. En: Journal of Solar Energy Engineering. , Vol.; 131, (Nov2009) P5-5.



M. AUGUSTUS Leon<sup>71</sup>, ellos demuestran los detalles de un modelo matemático para Los colectores transpirados no vidriados utilizando expresiones de transferencia de calor para los componentes del colector, y relaciones empíricas para estimar los diversos coeficientes de transferencia de calor. Predicen el rendimiento térmico de los colectores solares no vidriados transpirados en una amplia gama de condiciones de diseño y operación. Realizaron un análisis para predecir los efectos de los parámetros clave en el rendimiento de un CSNVT para una temperatura del aire de entrega de 45-55 °C para aplicaciones de secado. A partir de los resultados, indican un rendimiento térmico prometedor para el colector con las temperaturas del aire de entrega.

## **12.8 DIVULGACIÓN**

Se buscó revistas científicas para divulgar este artículo y se seleccionó la revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, cuenta con el número internacional normalizado de publicaciones seriadas ISSN 0120-6230. Según el portal Scimago Journal & Country Rank de acceso público que incluye la revista y los indicadores científicos nacionales desarrollados a partir de la información contenida, se encuentra en la categoría Q3 es decir que es el tercer valor más alto del rango anual.

Se postuló el artículo en la revista como se evidencia en la Figura 6, se espera un tiempo de respuesta por parte de la revista para ser divulgado para la comunidad académica que está interesada en el tema de la determinación experimental del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura.

---

<sup>71</sup> M. AUGUSTUS Leon. Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors. En: Solar Energy. , Vol., 81, (Jan2007), P 62-75.



ISSN 0120-6230  
**Revista Facultad de Ingeniería**

INICIOACERCA DEÁREA PERSONALBUSCARACTUALARCHIVOSAVISOS

[Inicio](#) > [Usuario/a](#) > [Autor/a](#) > [Envíos](#) > [Nuevo envío](#)

## Paso 2. Cargar el envío

1. [Inicio](#) 2. **CARGAR EL ENVÍO** 3. INTRODUCIR LOS METADATOS 4. CARGAR LOS ARCHIVOS COMPLEMENTARIOS 5. CONFIRMACIÓN

Para cargar un manuscrito en esta revista, complete los siguientes pasos:

- Haga clic en Examinar (o Seleccionar archivo) en esta página para abrir la ventana Seleccionar archivo y así poder localizarlo en su disco duro.
- Localice el archivo que desea enviar y resáltelo.
- Haga clic en Abrir (en la ventana Seleccionar archivo) y verá el nombre del archivo en esta página.
- Haga clic en Cargar para enviar el archivo al sitio web de la revista y renombrarlo según las normas de la revista.
- Una vez cargado el envío, haga clic en Guardar y continuar, en la parte inferior de esta página.

¿Necesita ayuda? Póngase en contacto con [Juan Diego Andres Prada Ramirez](#) para recibir asistencia.

---

### Archivo de envío

Nombre del archivo [331583-141820-1-SM.pdf](#)  
Nombre del archivo ARTICULO FINAL.pdf original  
Tamaño del archivo 395KB  
Fecha de subida 2018-03-09 11:59 AM

---

Reemplazar el archivo de envío

---

**Notificaciones**  
[Vista](#)  
[Gestionar](#)

**Usuario/a**  
Ha iniciado sesión como...  
felix13b  
[Mis revistas](#)  
[Mi perfil](#)  
[Cerrar sesión](#)

**Idioma**  
Escoge idioma  
Español (España) ▼

**Contenido de la revista**  
Buscar  
  
Ámbito de la búsqueda  
Todo ▼  
  
Examinar  
[Por número](#)  
[Por autor/a](#)

Figura 6. Divulgación en la revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

## 12. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al finalizar la síntesis de cada artículo, se presentaron diferentes métodos de mejorar el rendimiento térmico. En la Tabla 18, destaca los tipos de colectores identificados en los artículos. De tal manera que, se puede evidenciar que la gran mayoría de los artículos utilizaron el colector de placa plana, ya que es un sistema de bajo costo y sirve en cualquier tipo de radiación solar, sin importar que el fluido de entrada se encuentre a temperaturas menores bajo cero como lo afirmó Xianhua Nie<sup>72</sup> en su investigación experimental. En la Figura 7, se grafica los porcentajes obtenidos por cada colector solar, demostrando así, que los colectores de placa no sean los mejores en eficiencia térmica, como los de tubos al vacío, han ocupado la mayor parte en estudios y diseños en diferentes partes del mundo. Por esta misma razón, en los tipos de colectores combinados que obtuvo un 22,00% los autores experimentaron con estos colectores, calculando y comprobando el rendimiento de cada uno.

Según el porcentaje los colectores de aire solar, han perdido el interés de realizar estudios experimentales, ya que se encontraron pocos artículos utilizando este tipo de colector.

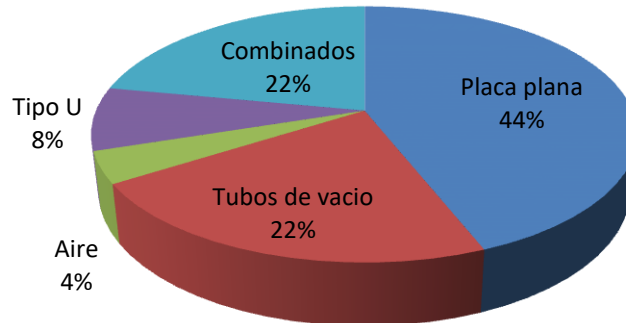
TIPO DE COLECTOR	CANTIDAD DE ARTÍCULOS	PORCENTAJE
Placa plana	22	44,00%
Tubos de vacío	11	22,00%
Aire	2	4,00%
Tipo U	4	8,00%
Combinados	11	22,00%

**Tabla 18. Cuantificación de los tipos de colectores identificados en los artículos.**

---

<sup>72</sup> XIANHUA Nie. Experimental study on thermal performance of U-type evacuated glass tubular solar collector with low inlet temperature. En: Solar Energy. Vol.; 150. (Jul. 2017); P. 192-201.

## TIPOS DE COLECTORES



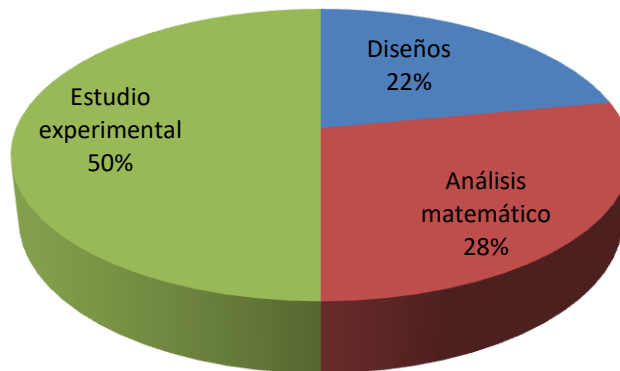
**Figura 7. Tipos de colectores identificados en los artículos.**

En la verificación de los artículos, se encontraron diferentes métodos en el cual se puede mejorar, calcular y experimentar el rendimiento térmico en los colectores solares. Como se puede observar en la Tabla 19, la gran mayoría realizaron estudios experimentales añadiendo diferentes materiales o fluidos, como por ejemplo, el uso de nanofluidos, llegó a demostrar un gran incremento del rendimiento térmico y más aún cuando se mezclaba con diferentes químicos. Por ejemplo, el Dióxido de silicio o el trióxido de wolframio. También añadiéndoles materiales porosos o cambiado de tipos de material, utilizando como el cobre o el aluminio. En la figura 8, se puede observar los porcentajes calculados de los métodos que existen para aumentar el rendimiento térmico y se observa que el 50% de los artículos se basaron en realizar estudios experimentales. Sin embargo, en la parte de diseño y análisis matemático fue del 22% y 28%.

MÉTODO	CANTIDAD DE ARTÍCULOS	PORCENTAJE
Diseños	11	22,00%
Análisis matemático	14	28,00%
Estudio experimental	25	50,00%

**Tabla 19. Cuantificación de los métodos identificados en los artículos.**

## MÉTODOS



**Figura 8. Métodos identificados en los artículos.**

### 13.CONCLUSIONES

- Se identificaron diferentes estrategias para el mejoramiento del rendimiento térmico de colectores solares a baja temperatura, como nuevos diseños, análisis matemáticos y estudios experimentales. Gracias a estos métodos se ha logrado aumentar a un buen porcentaje el rendimiento a los colectes solares a baja temperatura.
- Se determinó la vigencia y el posicionamiento de acuerdo al mapa ELR, utilizando las bases de datos Science Direct y Engineering Source. Lastimosamente en la base de datos Enginnerin Source, no cumple con la cantidad de artículos citados. En cambio, la base de datos Science Direct tiene un nivel muy sobresaliente, ya que tiene bastante información sobre el tema de interés.
- Gracias a la metodología de Jorge Iván Pérez, se logró determinar el posicionamiento histórico a lo largo de la historia y a los últimos cinco años, se observó que han realizado una variedad de estudios para el aumento del rendimiento. También, las características más relevantes que se determinó son:
  - El sistema que más utilizan para las pruebas experimentales son los colectores de placa plana utilizando diferentes fluidos, realizan simulaciones y/o la mejora de materiales. Cabe señalar que, el método que más están utilizando para el aumento del rendimiento térmico es la aplicación de nanfluidos como fluido de trabajo, ya que han obtenido resultados excelentes con el uso de ellos.
- Se identificaron las oportunidades que brinda la investigación con respecto al tema, son los métodos y las soluciones que comparten los autores para mejorar el rendimiento de un sistema solar. Es decir, este documento será de gran ayuda para el grupo GIDAD y para otros lectores que están trabajando el tema y tomen la decisión de dar el segundo paso que es comenzar a realizar pruebas experimentales.

## **14.RECOMENDACIONES**

- El libro de metodología de Jorge Ivan Perez, nos facilitó el desarrollo de la investigación, la cual es, una metodología muy explícita en la búsqueda de información y el proceso que se debe llevar a cabo para realizar el documento. Debido a lo anterior, se recomienda que los semilleros de la fundación universitaria los libertadores manejen esta metodología para el desarrollo de un artículo investigativo.
- Se utilizaron dos bases de datos de la Fundación Universitaria los libertadores, que son Science Direct y Engineering Source. Se realizaron comparaciones, evaluaciones de información entre las dos bases de datos y se observó que la bases de datos Science direct presento mejores resultados y citas que la otra base de datos, debido a eso, se recomienda que la fundación universitaria los libertadores sugiera una mejor calidad de información y citas en la base de datos Engineering Source.
- Motivar a los semilleros a realizar más investigaciones y realizar aplicaciones experimentales, aprovechando los recursos que brinda la universidad los libertadores. También, hay que tener en cuenta que han realizado pocas investigaciones en Colombia ya que es un tema de gran interés para realizar instalaciones con el fin de generar un gran ahorro energético.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] LÓPEZ Letón Sandra. El país. Paneles solares en el olvido. Online 14 de Enero de 2017. Recuperado el 5 de Mayo de 2017. Disponible en: [http://economia.elpais.com/economia/2017/01/13/actualidad/1484299730\\_181495.html](http://economia.elpais.com/economia/2017/01/13/actualidad/1484299730_181495.html)
- [2] PIQUERAS Pedro. Univisión noticias. La energía solar térmica es la fuente más económica limpia para refrigerar y dar calefacción al mundo. Online 9 de Junio de 2016. Recuperado el 5 de Mayo de 2017. Disponible en: <http://www.univision.com/noticias/medio-ambiente/la-energia-solar-termica-es-la-fuente-mas-economica-y-limpia-para-refrigerar-y-dar-calefaccion-al-mundo>
- [3] SKENTA. Energía solar térmica. Argentina podría ahorrar un 20% de gas natural. Online 29 de Enero de 2016. Recuperado el 5 de Mayo de 2017. Disponible en: <http://www.skenta.com.ar/novedades/energia-solar-termica-argentina-podria-ahorro-de-energia-agua-caliente-solar>
- [4] RODRÍGUEZ Erika. Agencia informativa Conacyt. Perfecciona calentador solar. Online 10 de Febrero de 2016. Recuperado el 5 de Mayo de 2017. Disponible en: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/5322-sistema-de-control-para-mejorar-el-rendimiento-de-un-calentador-solar-corregida>
- [5] Energy news. Todo en energías. Nuevos captadores de tubos de vacío ligeros y eficientes para cubiertas solares. Online 20 de Junio de 2016. Recuperado el 5 de Mayo de 2016. Disponible en: <http://www.energynews.es/nuevos-captadores-de-tubos-de-vacio-ligeros-y-eficientes-para-cubiertas-solares/>
- [6] RASO Concha. Calor y Frio. Nuevo colector solar térmico de bajo espesor Slim de Baxi. Online 16 de Marzo de 2017. Recuperado el 5 de Mayo de 2017. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/nuevo-colector-solar-termico-de-bajo-espesor-slim-de-baxi.html>



- [7] Ulrich Frei. Solar Thermal Collectors, state of the art and further development. Institut für Solartechnik SPF. Oberseestrasse. Rapperswil, Switzerland.
- [8] H.P. Garg, S. Chakraverty, A. R. Shukla R. C. Agnihotri and Indrajit. Advanced tubular solar energy collector – A state of the art. Centre of energy studies, Indian Institute of Technology. Energy Convers. Vol.; 23. No.3. (21 de Mayo de 1982). P 157.
- [9] S. C. KAUSHIK, R. KUMAR, S. CHANDRA & S. KAUL. Solar collector reflector systems; state of art study and performance evaluation. Center for energy studies. Indian Institute of Technology. International Journal of Sustainable Energy. Vol.; 16. (08 de Septiembre de 1994). P 245.
- [10] RAKESH Kumar and Marc A. Rosen. Review of solar water heaters with integrated collector – storage units. Faculty of Engineering and Applied Science. University of Ontario Institute of Technology. Ontario, Canada. International Journal of Energy. Vol.; 21. No 4. P 343.
- [11] FERNÁNDEZ Salgado José M. Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica. Tipología de captadores solares de baja temperatura. 1ª ed. Madrid, 2010, p 52-53.
- [12] KALOGIROU Soteris A. Solar thermal collectors and applications. Progress in energy and combustion science. Department of mechanical engineering. El Siver. Accepted 10 February 2004. P 245.
- [13, 14] KALOGIROU Soteris A. Solar energy engineering processes and systems. Performance of solar collectors. Second edition. Amsterdam, 2014. P 221.
- [15] TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p28.

- [16, 17] KALOGIROU Soteris A. Solar energy engineering processes and systems. Performance of solar collectors. Second edition. Amsterdam, 2014. P 221.
- [18] TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p38.
- [19] TOBAJAS Carlos M. Energía solar térmica para instaladores. Tipos de radiación solar. 4ª ed. 2012, p40.
- [20] D. Yogi Goswami. Principles of solar engineering. Thermal Performance. Third Edition, 2015. 162p.
- [21] PÉREZ Rave Jorge Iván. Revisión sistemática de literatura en ingeniería. Ciencia y tecnología. Primera edición 2012. Universidad de Antioquia, p1-5.
- [22] HUSSEIN Ahmed. Applications of nanotechnology to improve the performance of solar collectors – Recent advances and overview. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.; 63. (Sep. 2016). P.767-792
- [23] M.A. Sabiha. Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 105.(Nov. 2015); P. 1377-1388.
- [24] ALI K. Abdel. Experimental study of alumina nanofluids effects on thermal performance efficiency of flat plate solar collectors. En: Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Vol.; 15 (Nov2017). P123-128.
- [25] TOORAJ Yousefi. An experimental investigation on the effect of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{H}_2\text{O}$  nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. En: Renewable Energy. Vol.; 39. (Maz. 2012). P. 293-298.

- [26] JANUSZ <sup>o</sup>T. Performance of the flat plate solar collector operated with water-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid. En: Applied Mechanics & Materials. Vol.,; 831 (2016), P181-187.
- [27] SALEH Salavati. Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO<sub>2</sub>/EG–water nanofluids. En: International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol.,; 65. (Jul. 2015). p. 71-75.
- [28] M.D. Dalwadi. Enhancement of thermal performance of solar flat plate collector using SiO<sub>2</sub> nanofluid. En: Journal on Future Engineering & Technology. Vol.,; 12 (May-Jul.2017), P33-40.
- [29] JAVANIYAN H. Effects of porous material and nanoparticles on the thermal performance of a flat plate solar collector: An experimental study. En: Renewable Energy. Vol.,; 114, Part 3. (Dic. 2017). P. 1407-1418
- [30] CHUAN Sun. Performance Analysis of Flat-Plate Solar Collector Having Silve Nanofluid as Working Fluid. En: Heat Transfer Engineering. Vol.,; 35. (Aug2014), P1183-1191.
- [31] MAHMOUD A. Experimental study on the performance of a flat-plate collector using WO<sub>3</sub>/Water nanofluids. En: Energy. Vol.,; 141. (Dic.2017). P. 2436-2444
- [32] AHMADI Alireza. Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors. En: Energy Conversion and Management. Vol.,; 126. (Oct. 2016). P. 1-11.
- [33] MAHMUD J. The use of nanofluids for enhancing the thermal performance of stationary solar collectors: A review. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.,; 63. (Sep. 2016). p. 226-236.

- [34] WANDONG Zheng Experimental investigation of the transpired solar air collectors and metal corrugated packing solar air collectors. En: Energies (19961073). Vol.,; 10 (Mar2017), P1-12. 12p. 1 Color Photograph, 3 Diagrams, 2 Charts, 7 Graphs.
- [35] T. VASANTHA Malliga. Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays. En: Journal of Cleaner Production. Vol.,; 142, (Jan2017), p3517-3526.
- [36] TING-TING zhu. Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays. En: Journal of Cleaner Production. Vol.,; 142, (Jan2017), p3517-3526.
- [37] WEI Chang. The Theoretical and Experimental Research on Thermal Performance of Solar Air Collector with Finned Absorber. En: Energy Procedia. Vol.,; 70. (May. 2015); p 13-22.
- [38] JIE Deng. Experimental Study of a Single-pass Flat Plate Solar air Collector with Severe Dust Deposition on the Transparent Glass Cover. En: Energy Procedia. Vol.,; 70. (May. 2015); p 32-40.
- [39] JAHAR Sarkar. Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical carbon dioxide as heat transfer fluid. En: International Journal of Sustainable Energy. Vol.,; 32 (Dec2013), P531-543.
- [40] PAUL Henshall. constant temperature induced stresses in evacuated enclosures for high performance flat plate solar thermal collectors. En: Solar Energy. Vol. 127, (Apr2016), p250-261.
- [41] YUECHAO Deng. Experimental Study of the Thermal Performance for the Novel Flat Plate Solar Water Heater with Micro Heat Pipe Array Absorber. En: Energy Procedia. Vol.,;70. (May. 2015). P 41-48.

- [42] MARCO Cozzini. Performance Analysis of a Flat Plate Solar Field for Process Heat. En: Energy Procedia. Vol.; 91. (Jun. 2016). P. 11-19.
- [43] R.C. Tiwari. Thermal performance of flat-plate solar collectors manufactured in India. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 31. (1991). P. 309-313
- [44] K Sopian. Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media. En: Renewable Energy. Vol.; 18. (Dic. 1999). P. 557-564.
- [45] DAVIDE Del Col. Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers. En: Energy. Vol.; 58. (Sep. 2013). P. 258-269.
- [46] L.M. Ayompe. Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. En: Applied Thermal Engineering. Vol.; 58. (Sep. 2013). P. 447-454
- [47] R.C. Tiwari. Thermal performance of flat-plate solar collectors manufactured in India. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 31. (1991). P. 309-313
- [48] P. Selvakumar. Performance study on evacuated tube solar collector using therminol D-12 as heat transfer fluid coupled with parabolic trough. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 85. (Sep. 2014). P. 505-510.
- [49] I. Budihardjo. Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. En: Solar Energy. Vol.; 83.(Ene. 2009). P 49-56.
- [50] CHOW. Tin-Tai. Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong. En: Energy and Buildings. Vol.; 43. (Dic.2011). P. 3467-3474

- [51] HAYEK Michel. Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions. En: Energy Procedia. Vol.; 6. 2011. P. 618-626.
- [52] M.A. Sabiha. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.; 51 (Nov. 2015). P. 1038-1054.
- [53] E. Zambolin. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary estándar and daily conditions. En: Solar Energy. Vol.; 84 (Aug2010),2-1396. 15p.
- [54] PUTRA Nandy. Performance of the solar collector with vacuum tubes and dual heat pipes based on wick length variation. En: Applied Mechanics & Materials. Vol.; 819 (2016), P147-151.
- [55] A.E. Kabeel. Augmentation of thermal efficiency of the glass evacuated solar tube collector with coaxial heat pipe with different refrigerants and filling ratio. Vol.; 138. (Abr. 2017). P. 286-298.
- [56] KIM Hyeongmin. investigation of the thermal performance of evacuated heat pipe solar collector with optimum tilt angle under various operating conditions. En: Journal of Mechanical Science & Technology. Vol.; 30 (Feb. 2016). P. 903-913.
- [57] XIANHUA Nie. Experimental study on thermal performance of U-type evacuated glass tubular solar collector with low inlet temperature. En: Solar Energy. Vol.; 150. (Jul. 2017); P. 192-201.
- [58] Y. GAO. Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector. En: Solar Energy. Vol.; 107. (Sep. 2014); p 714-727.

- [59] TONG Yijie. Effects of thermal performance of enclosed-type evacuated U-tube solar collector with multi-walled carbon nanotube/water nanofluid. En: Renewable Energy. Vol.; 83. (Nov. 2015). P. 463-473.
- [60] ROONAK Daghigh. Theoretical and experimental analysis of thermal performance of a solar water heating system with evacuated tube heat pipe collector. En: Applied Thermal Engineering. Vol.; 103. (Jun. 2016). P. 1219-1227.
- [61] X.D. Wang. Performance evaluation of a low-temperature solar Rankine cycle system utilizing R245fa. En: Solar Energy. Vol.; 84. (Mar. 2010). P. 353-364.
- [62] MILOSTEAN Daniela. An overview on the flat-plate solar collectors and their thermal efficiency. En: Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Vol.; 15 (Nov2017), P123-128.
- [63] SHI Yanhua. Numerical Simulation Study on Optimization of Solar Flat-plate Collector. En: Applied Mechanics & Materials. (2014). P523-527.
- [64] KURKLU Ahmet. Thermal performance of a water-phase change material solar collector. En: Renewable Energy. Vol.; 26. (Jun. 2001). P. 391–399.
- [65] IORDANOU G. G. Iordanou. Development of a mathematical lumped parameters model for the heat transfer performance of a solar collector. En: Journal of Engineering Science & Technology Review. Vol.; 6, ( 2013), P5-9.
- [66] A. Sakhrieh. Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors. En: Energy Conversion and Management. Vol.; 65.(Ene.2013). P. 715-720.

- [67] RUNSHENG Tang. Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles. En: Solar Energy. Vol.; 85. (Jul. 2011). P. 1381-1389.
- [68] VENKATESH R. Performance Analysis of Solar Water Heater in Multipurpose Solar Heating System. En: Applied Mechanics & aterials. (2014), P. 1706-1713.
- [69] SÖZEN Adnan. Determination of efficiency of flat-plate solar collectors using neural network approach. En: Expert Systems with Applications. Vol.; 35. (Nov. 2008). P. 1533-1539.
- [70] TYAGI Himanshu. Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. En: Journal of Solar Energy Engineering. , Vol,; 131, (Nov2009) P5-5.
- [71] M. AUGUSTUS Leon. Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors. En: Solar Energy. , Vol,; 81, (Jan2007), P 62-75.
- [72] XIANHUA Nie. Experimental study on thermal performance of U-type evacuated glass tubular solar collector with low inlet temperature. En: Solar Energy. Vol.; 150. (Jul. 2017); P. 192-201.



## LISTA DE ANEXOS

### Anexo 1. Mapa de delimitación del espacio literario relevante (ELR)

